

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1921

THÈSE

N°

13

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

J. SANARENS

Ingénieur Agronome, Licencié ès-sciences physique et chimie

Directeur du Laboratoire municipal et du Service de la Répression des Fraudes au Havre

Membre consultatif de la Commission Sanitaire de l'Arrondissement du Havre

Expert des Services scientifiques du Ministère de l'Agriculture

CONTRIBUTION A L'ETUDE

DE L'ÉTIOLOGIE DE LA FIÈVRE TYPHOÏDE AU HAVRE

ÉTUDES HYDROLOGIQUES

SUR

LES EAUX POTABLES DU HAVRE

I

Président :

M. LE DOCTEUR LÉON BERNARD

Professeur d'Hygiène

PROFESSEURS : MM.

Anatomie.	NICOLAS.
Anatomie médico-chirurgicale	CUNÉO.
Physiologie	Ch. RICHET.
Physique médicale.	André BROCA.
Chimie organique et chimie générale	DESGREZ.
Bactériologie	BEZANCON.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales.	Marcel LABBÉ.
Pathologie médicale	RÉNON.
Pathologie chirurgicale	LECÈNE.
Anatomie pathologique	LETULLE.
Histologie	PRENANT.
Pharmacologie et matière médicale.	POUCHET.
Thérapeutique	CARNOT.
Hygiène	BERNARD.
Médecine légale.	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	MÉNÉTRIER.
Pathologie expérimentale et comparée.	ROGER.
Clinique médicale	ACHARD.
	WIDAL.
	GILBERT.
	CHAUFFARD.
Hygiène et clinique de la première enfance	MARFAN.
Clinique des maladies des enfants	NOBECOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	DUPRÉ.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	JEANSELME.
Clinique des maladies du système nerveux	P. MARIE.
Clinique des maladies contagieuses	TEISSIER.
Clinique chirurgicale	DELBET.
	LEJARS.
	HARTMANN.
	GOSSET.
Clinique ophtalmologique	De LAPERSONNE.
Clinique des maladies des voies urinaires.	LEGUEU.
Clinique d'accouchements.	BAR.
	COUVELAIRE.
	BRINDEAU.
Clinique gynécologique	J. L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile	BROCA Auguste.
Clinique thérapeutique	VAQUEZ.
Clinique oto-rhino-laringologique	SEBILEAU.
Clinique thérapeutique chirurgicale	DUVAL.

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

MM.	MM.	MM.	MM.
ABRAMI	DUVOIR	LARDENNOIS	RATHERY
ALGLAVE	FIESSINGER	LE LORIER	RETTERRER
BASSET	GARNIER	LEMIERRE	RIBIERRE
BAUDOUIN	GOUGEROT	LEQUEUX	RICHAUD
BLANCHETIÈRE	GREGOIRE	LEREBoullet	ROUSSY
BRANCA	GUENIOT	LÉRI	ROUVIÈRE
CAMUS	GUILLAIN	LÉVY-SOLAL	SCHWARTZ
CHAMPY	GUILLEMINOT	MATHIEU	TANON
CHEVASSU	HEITZ BOYER	METZGER	TERRIEN
CHIRAY	JOYEUX	MOCOQUOT	TIFFENEAU
CLERC	LABBÉ (Henri)	MULON	VILLARET
DEBRÉ	LAIGNEL-LAVASTINE	OKINCZYC	
DESMAREST	LANGLOIS	PHILIBERT	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

*Contribution à l'étude
de l'Etiologie de la Fièvre typhoïde
au Havre*

13

Etudes Hydrologiques
sur
les Eaux potables du Havre



I

PAR LE **Docteur J. SANARENS**

DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Ingénieur Agronome, Licencié ès-sciences physique et chimie

Directeur du Laboratoire municipal et du Service de la Répression des Fraudes au Havre

Membre consultatif de la Commission Sanitaire de l'Arrondissement du Havre

Expert des Services scientifiques du Ministère de l'Agriculture



LE HAVRE
SOCIÉTÉ COOPÉRATIVE « IMPRIMERIE DE L'UNION »

1921
1922

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE ET DE MA MÈRE

*Témoignage de profonde
amitié et reconnaissance.*

A MON COUSIN, MONSIEUR LE DOCTEUR BIZE

ANCIEN INTERNE DES HÔPITAUX DE TOULOUSE

A MES COUSINS

A MONSIEUR LE MAIRE

A L'ADMINISTRATION ET AU CONSEIL MUNICIPAL

DE LA

VILLE DU HAVRE

A MES AMIS

A MES MAITRES

DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS
ET DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE ROUEN
ET DES HÔPITAUX

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR BERNARD
PROFESSEUR D'HYGIÈNE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE
DE PARIS

A TOUS MES ANCIENS MAITRES



Arrivé au terme de mes études médicales, mon premier devoir, au début de ce travail, sera d'adresser un témoignage de gratitude et de reconnaissance à tous mes Maîtres de la Faculté de Médecine de Paris et de l'Ecole de Médecine de Rouen.

Je remercierai particulièrement M. le Doyen de l'Ecole de Médecine de Rouen, M. le Professeur Brunon, de l'extrême obligeance qu'il eût pour moi, en me donnant toutes facilités pour suivre les cours et les exercices de l'Ecole dans des conditions qui, pour moi, étaient particulièrement difficiles.

Mon témoignage de gratitude s'adressera à tous mes Professeurs de l'Ecole de Rouen et notamment à MM. les Professeurs Cerné, Bataille, le regretté Docteur Olivier, à M. le Professeur Devé, particulièrement, qui voulurent bien m'accueillir dans leurs services des hôpitaux et m'initier aux recherches cliniques.

J'adresserai mes vifs remerciements aux savants Maîtres et Professeurs de la Faculté de Médecine de Paris, dont j'ai suivi l'enseignement au cours de mes études médicales.

Je remercierai tout particulièrement M. le Professeur Bar, et son collaborateur M. le Docteur Lequeur, qui, avec une amabilité extrême, je dirai même exceptionnelle, m'accueillit dans son service de la clinique Tournier pour mon stage d'accouchement.

Je ne manquerai pas non plus de témoigner une vive gratitude à M. le Professeur Hutinel qui, lui aussi, me permit avec tant de bienveillance de suivre ses savants travaux pendant mon stage à l'Hôpital des Enfants malades.

Je serai très reconnaissant à M. le Professeur Bernard, Professeur d'Hygiène à la Faculté de Médecine de Paris, du grand honneur qu'il a bien voulu me faire en acceptant la présidence de ma Thèse.

Je remercierai la Commission Administrative et M. le Directeur des Hospices, ainsi que les membres du Corps médical du Havre, notamment mes amis MM. les Docteurs Guillot et Dehelly, le regretté Docteur Walch, le Docteur Le Nouëne, MM. les Docteurs Balard d'Herlinville, Lecesne, Du Pasquier, Laurent, Lausiès, Gibert, etc., pour l'accueil bienveillant qu'ils m'ont fait dans les services des Hôpitaux du Havre.

Je donnerai un témoignage de reconnaissance tout particulier et de profonde amitié à M. le Docteur Pottevin, ancien Directeur du Bureau d'Hygiène du Havre, Directeur technique de l'Office International d'Hygiène à Paris, sénateur du Tarn-et-Garonne. Pendant les dix années que j'ai été son préparateur et son collaborateur au Havre, il m'a initié aux travaux de la science de l'hygiène et de la bactériologie, il a été pour moi un Maître et un conseiller précieux et, plus encore, un excellent ami auquel je dois beaucoup.

Ma gratitude et mes remerciements doivent s'adresser aussi tout particulièrement à M. Léon Meyer, officier de la Légion d'Honneur, Maire du Havre, à l'Administration et au Conseil municipal du Havre, pour la très importante subvention qu'ils ont bien voulu m'accorder en vue de la publication de ma thèse. Je suis très sensible à cette marque de bienveillance des Administrateurs de la Ville du Havre, et je la considère comme une haute récompense pour les efforts que j'ai pu faire, en publiant quelques documents personnels qui peuvent intéresser l'hygiène du Havre et l'hygiène générale.

Je n'oublierai pas non plus dans mes remerciements, mon excellent collègue et ami, M. Lefebvre, Ingénieur, Directeur du Service des Eaux. Avec son amabilité, son extrême complaisance habituelle, il m'a facilité pendant vingt ans toutes les recherches entreprises sur les eaux du Havre. Il a collaboré à de nombreuses expériences relatées dans ma thèse et en a facilité l'exécution et la réussite. Tous ses documents, graphiques, ont été toujours mis aimablement à mon entière disposition. Il me sera donc

permis de dire ici que, grâce à son zèle, à ses efforts constants, la Ville du Havre possède un service de distribution d'eaux potables très bien organisé, et qui peut, avec avantage, supporter la comparaison avec les services les mieux installés de France, même avec ceux de la Ville de Paris.

Je tiendrai aussi tout spécialement à remercier mon excellent camarade, M. F. Daigault, pour les nombreux services qu'il me rend et qu'il m'a rendus au cours de la préparation de ma thèse. Je tiens à dire, il ne m'en voudra pas, j'espère, que jamais les personnes qui s'occupent de science n'ont fait appel en vain à son habileté en toutes choses et notamment en histologie et en photomicrographie. Grâce à lui, j'ai pu faire en automobile mes très nombreuses reconnaissances géologiques sur le terrain de l'arrondissement du Havre. C'est à ses talents de photographe et de photomicrographe que je dois les clichés qui illustrent ma thèse, et je ne cacherai pas que l'exécution de certains était d'une réalisation difficile et particulièrement délicate.

Je remercierai mon ami et collègue, M. Degeorges, Directeur du Cadastre du Havre, qui a bien voulu, avec son talent habituel, mettre au point mon relevé topographique des environs des sources de Saint-Laurent.

Tous mes remerciements à M. le Docteur Loir, à M. Legangneux, Chef du Bureau d'Hygiène, pour l'amabilité avec laquelle ils m'ont communiqué les documents du Muséum et les documents de statistiques du Bureau d'Hygiène pour la période 1910-1921; ainsi qu'à M. Saunier, agent-voyer en chef de l'arrondissement du Havre, qui a bien voulu mettre à ma disposition plusieurs plans du Service vicinal du Havre pour l'établissement du plan des environs des sources de Saint-Laurent.

Je ne saurai trop féliciter mon éditeur, M. Goument, Conseiller municipal, Directeur de l'Imprimerie de l'Union, du zèle et de l'habileté professionnelle qu'il a déployés pour la mise au point de l'impression de ma thèse qu'il a parfaitement réussie.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INTRODUCTION

L'étiologie de la fièvre typhoïde au Havre, pendant les fortes épidémies, a fait l'objet de très grands débats entre les hygiénistes parisiens, MM. les Professeurs Brouardel et Thoinot, partisans de l'origine hydrique, et les hygiénistes havrais, M. le Docteur Gibert, partisan de l'origine tellurique et de l'action des mauvaises conditions hygiéniques de la ville.

De ces vives discussions, il est difficile de tirer des conclusions définitives bien certaines et précises ; on peut dire que les adversaires, armés d'arguments sérieux des deux côtés, sont restés sur leurs positions.

Aussi, il m'a paru utile, à titre de première contribution à l'étude de l'étiologie de la fièvre typhoïde au Havre, de publier les renseignements que j'ai pu recueillir sur les eaux potables distribuées dans cette ville, ainsi que les résultats de mes recherches personnelles sur ces eaux. Ces recherches porteront surtout sur la période de vingt ans pendant laquelle j'ai pu les observer, d'abord comme chimiste et préparateur au Bureau d'Hygiène, ensuite comme Directeur du Laboratoire municipal.

Je suivrai dans la distribution de ce travail les enseignements de mon illustre et regretté maître, M. le Professeur Duclaux. Le savant Directeur de l'Institut Pasteur, mêlé indirectement au débat auquel je faisais allusion plus haut, et chargé plus tard d'établir les bases du service de contrôle des eaux de la Ville de Paris, a indiqué d'une façon irréfutable que l'étude d'une eau de source ne devait pas se faire uniquement en laboratoire. Cette étude doit porter en outre sur la géologie, le régime des eaux, la situation sanitaire et hygiénique du bassin d'alimentation, la recherche sur le

terrain des causes possibles de contamination permanentes ou accidentelles.

J'examinerai donc successivement : la situation de nos sources, la géologie des terrains d'où elles émergent, leur régime et débit, leur bassin d'alimentation, les caractères physiques, la composition chimique, la bactériologie de nos eaux, la valeur de leur filtre naturel, les causes possibles de leur contamination, les mesures de protection, l'influence que tous ces éléments réunis peuvent avoir sur l'endémie et les épidémies de fièvre typhoïde au Havre.

SITUATION DES SOURCES

Renseignements sur le mode d'amenée au Havre

Les sources de Saint-Laurent sont situées à 12 kilomètres à vol d'oiseau à l'Est-Nord-Est du Havre, dans la vallée de Gournay-Saint-Laurent, à l'origine de la rivière de ce même nom, aux abords et dans le village même de Saint-Laurent-de-Brèvedent, canton de Saint-Romain (Seine-Inférieure).

Ces sources sont divisées en trois groupes; elle émergeaient avant tout travail de captage aux cotes suivantes au-dessus du zéro des cartes marines :

	Cotes d'émergence
I. { Source de « l'Eglise ».....	41 m. 04
{ « Grandes Sources ».....	40 m. 80
II. — Sources des « Pruniers ».....	40 m. 41
III. — Sources du « Câtillon ».....	39 m. 10

Les installations de captage sont assez rudimentaires. Au « Câtillon » l'eau est captée par huit petites galeries de 2 à 3 mètres de long, de 1 m. 50 de hauteur. Aux trois autres sources, l'eau est recueillie dans des bassins de maçonnerie, dont les murs portent simplement de petits drains en poterie ou en pierres sèches de 1 à 2 mètres de longueur. Le fond des bassins est aussi perméable et permet à l'eau de pénétrer dans le bassin.

Les eaux provenant de ces sources sont amenées au Havre par simple gravitation par deux conduites en fonte : l'une, de 500 millimètres de diamètre, la plus ancienne, recueille les eaux d'une partie des sources du « Câtillon »;

l'autre, de 900 millimètres de diamètre, draine les eaux des trois groupes de sources recueillies dans une chambre unique de départ près du « Câtillon ».

Ces eaux sont distribuées en ville, soit directement par les conduites secondaires en fonte branchées sur les conduites d'amenée, soit après passage dans un réservoir de 11.000 mètres cubes, situé rue de la Ferme, dont le radier est à la cote 28. Ce réservoir alimente le moyen et le bas service. La partie haute de la ville reçoit l'eau par un groupe de trois réservoirs de 1.155 mètres cubes chacun, situés rue de l'Abbaye à la cote 97. Les eaux sont élevées dans ce dernier réservoir par des pompes mues par des machines à vapeur de 40 HP, qui aspirent l'eau dans un réservoir de 3.821 mètres cubes, situé rue de Conti, à Gravelle, à la cote 30, et alimenté par la conduite de 500, venant de Saint-Laurent.

La source de Radicatel, dite de « Brouisseresse », ou « Broui-Cérès », fait partie d'un groupe de sources importantes qui émergent au pied des falaises de la rive droite de la Seine, au quartier du Bout de la Ville, près de l'église de Radicatel, petit hameau de la commune de Saint-Nicolas-de-la-Taille, canton de Lillebonne (Seine-Inférieure), à 27 kilomètres à vol d'oiseau à l'Est du Havre.

La source émerge au bas de la falaise, à la cote suivante :

Cote d'émergence

Source de « Broui-Cérès »..... 4 m. 90

Le captage se fait au moyen d'une galerie de 100 mètres visitable, creusée dans la craie ; de petites galeries et traces de mines permettent à l'eau du filon naturel de venir dans la galerie, l'ouverture naturelle ancienne de ce filon étant bouchée par un batardeau.

Les eaux de cette source, recueillies dans un réservoir de pompage de 4.000 mètres cubes, sont élevées sur la falaise dans un réservoir de 6.000 mètres cubes, dont le radier est à la cote 51 m. 76 au-dessus du zéro des cartes marines. Les pompes élévatoires sont au nombre de trois et mues par des turbines à vapeur d'une force de 135 HP. Du

réservoir de la falaise, les eaux s'écoulent par gravitation vers Le Havre, dans une conduite en fonte de 650 millimètres de diamètre, raccordée à Harfleur, à la conduite de 900 millimètres qui amène les eaux de Saint-Laurent.

Les eaux de la source de Radicatel pour la période 1907-1911, n'étaient pas utilisées d'une façon continue à cause des frais de l'élévation par machines. Elles ne servaient que lorsque le débit des sources de Saint-Laurent était trop faible pour assurer une distribution convenable en ville. Depuis 1919, les besoins du service, à cause de l'extension de la ville, nécessitent une amenée continue des eaux de cette source.

ETUDE GÉOLOGIQUE

L'étude des terrains, qui nous permettra de déterminer le niveau géologique d'où proviennent les eaux d'alimentation de la Ville du Havre, doit porter sur la région du Pays de Caux comprise sur la carte ci-contre (fig. 1) dans le polygone A Le Havre (cap de La Hève), C Etretat, D Fécamp, F Bolbec, G Lillebonne, H Tancarville.

En consultant les travaux des savants géologues (Lennier, Lapparent, Hébert, Fortin, etc.) qui ont étudié la région normande, et en jetant un coup d'œil sur la carte géologique, nous voyons que dans cette partie du Pays de Caux on rencontre, comme terrains prédominants, les terrains de l'Ere Secondaire du système Crétacé ou Crétacique.

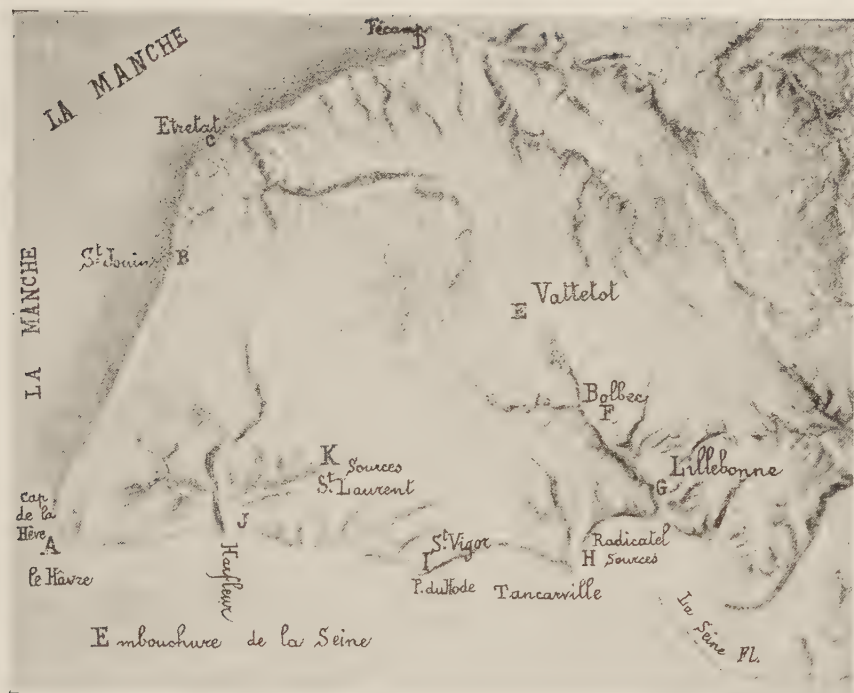
La succession des couches géologiques est particulièrement visible dans les coupes naturelles formées par la tranche verticale des falaises de la Hève, à Etretat-Fécamp (coupe n° 1) et de la Hève à Tancarville-Lillebonne, d'autre part (coupe n° 2).

Il y a lieu de remarquer que, dans les dessins de ces coupes rapportés au tome II, l'aspect des terrains diffère légèrement de celui des coupes déjà publiées antérieurement par d'autres géologues. Cette différence tient à ce que, sur mes coupes, les terrains ont été rapportés à l'échelle, autant qu'il a été possible de le faire.

Comme le faisait très justement remarquer M. Saunier, agent-voyer en chef du Havre, l'établissement des coupes géologiques sur plans cotés donnerait une valeur beaucoup plus grande à ces documents.

Les terrains rencontrés sont classés dans le tableau suivant, dans l'ordre chronologique, en commençant de haut en bas par les plus modernes :

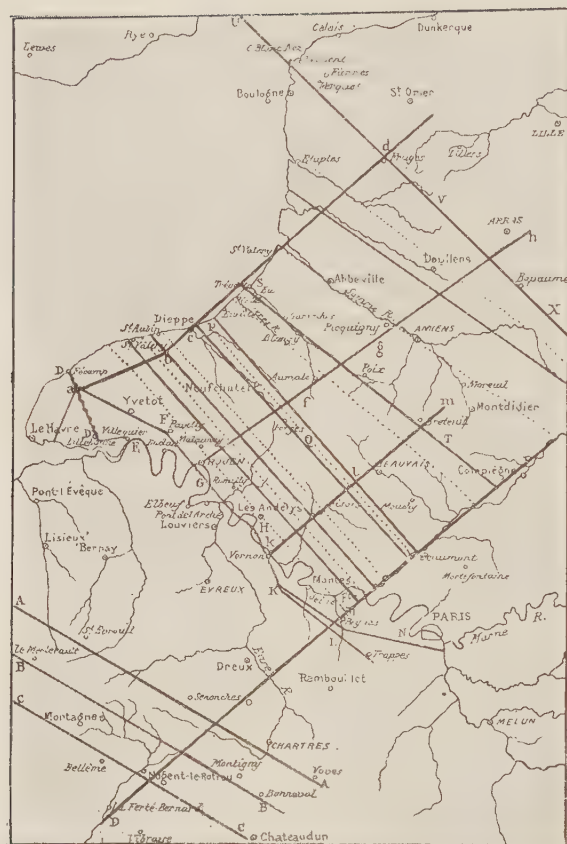
NOMENCLATURE DES TERRAINS de haut en bas	Indice de la carte géologique	Sous-Etage	Etage	Série	Système	Ère
Terre végétale. Limon des plateaux ou loess et dépôts meubles des pentes.	4 P	—	—	Pleistocène	—	Moderne ou Quaternaire
Sables colorés plus ou moins argileux et argile à silex.	6. c ⁷ M	—	—	Eocène	Eogène	Neozoïque ou Tertiaire
Craie blanche ou Sénonienne	6. c ⁷	—	Emschérien Sénonien inférieur	Supra- crétacée ou Néocrétacée	Crétacé ou Crétacique	
Craie marneuse ou Turonienne.	5. c ⁶	—	Turonien			
Craie glauconieuse ou Cénomaniennne (Craie de Rouen.)	4. c ^{3.4}	—	Cénomanienn			
Argiles sableuses noires.	3. c ^{1.2}	—	Albien			
Sables verts glauconieux	—	—	—	Infra- crétacée		
Pouddingue	2. c.	—	Aptien	ou		
Sables ferrugineux	—	—	—	Éocrétacée		
Calcaire lumachelle et argiles à gryphées virgules.	7. j ⁵	{ Kimeridgien supérieur Virgulien Kimeridgien inférieur Ptiérocérien Sequanien Oxfordien	Kimeridgien	Supra- Jurassique	Jurassique	
	6. j ^{4.5} 5. j ^{4.2}		—	—		
Mânes à Ptiérocères.						



Cliché F. Daligault

FIG. 1. — Carte en relief de la partie du Pays de Caux où sont situées les sources de la Ville du Havre.

(D'après le plan en relief du Bureau d'Hygiène, dressé par M. Muret, professeur de topographie à l'Institut agronomique.)



Cliché F. Daligault.

FIG. 2. — Carte de Normandie montrant les plissements principaux probables de la craie.

(D'après un dessin de M. Hébert, la carte géologique de France
et les travaux de l'auteur pour la région du Havre.)

LÉGENDE

^ ~~antidiploïde, antidiplôide, antidiplôide, antidiplôide~~ anticlinaux - bombements.

f

faïlle.

synclinaux.

Les terrains énumérés dans le tableau ci-joint présentent dans la région qui nous occupe trois étages de zones où l'on peut rencontrer des réseaux aquifères :

1° La zone aquifère du Turonien (la plus importante), zone des bancs durs du Turonien moyen et inférieur;

2° La zone aquifère du Cénomanién, zone de la gaize et des argiles du Gault;

3° La zone aquifère de l'Aptien, zone des sables de l'Aptien et des argiles du Kiméridgien.

Les sources de Saint-Laurent et de Radicatel proviennent du réseau de canaux aquifères du Turonien moyen inférieur, comme nous allons l'établir par l'étude de l'inclinaison des couches géologiques.

Le niveau et l'inclinaison des couches dans le Pays de Caux sont réglés par la direction et les mouvements des ondulations de la craie dans le Nord de la France.

D'après les savants travaux de M. Hébert, la craie, en Normandie et en Picardie, présente une série d'ondulations et de plissements, dont les axes sont orientés, pour une première série Nord-Ouest → Sud-Est, et, pour une deuxième série, dans une direction perpendiculaire Sud-Ouest → Nord-Est. Ces axes, projetés sur une carte, présentent l'aspect d'un quadrillage, ce qui a fait dire que la craie avait une structure quadrillée (fig. 2).

La première série de plissements, les plus nombreux, constitue une série d'anticlinaux et synclinaux à axes Nord-Ouest-Sud-Est avec pendage des couches dirigé vers le Nord-Est ou le Sud-Ouest.

La deuxième série à axes perpendiculaires à ceux de la première, présente au contraire un pendage des couches vers le Nord-Ouest ou le Sud-Est.

Au cours des mouvements de la craie, dans la masse qui présentait des zones plus ou moins élastiques ou résistantes, se sont produites des fentes ou failles. Sous l'action de la pression, les lèvres se sont plus ou moins soulevées et le pendage de portions de terrains s'est plus ou moins modifié par suite de la formation des fentes et du soulèvement de l'une seule des lèvres.

Dans la région du Havre, la pente des couches géologiques est surtout réglée par la faille de Lillebonne, qui aurait dû correspondre à un anticlinal ou bombement. Seule, la lèvre Nord-Est de la fente s'est soulevée. La lèvre opposée ne s'est pas soulevée ou s'est plutôt affaissée. Les terrains compris entre la Seine et la faille, au lieu de se soulever pour former le pli, sont restés en place ou ont basculé sous la pression, après la cassure. Si bien, que le pendage des couches qui devrait avoir une pente vers le Sud-Ouest, présente une pente très marquée vers le Nord-Est. Cette inclinaison des couches est nettement marquée sur les coupes naturelles de la falaise du Havre à Etretat, où les couches plongent nettement vers le Nord, comme l'indique la coupe géologique n° 1. Sur la coupe Havre à Lillebonne, le pendage des couches vers le Nord-Est se traduit par une pente vers l'Est, très visible sur cette coupe n° 2.

Si l'influence des plissements à axe Nord-Ouest → Sud-Est est, comme nous venons de le voir, très marquée sur la pente des couches géologiques des environs du Havre, l'action des plissements perpendiculaires à ceux-ci, c'est-à-dire à axe Sud-Ouest → Nord-Est, est moins sensible et ne paraît pas nettement établie par les travaux géologiques publiés sur notre région. La seule indication, à ma connaissance, de l'existence d'un pli anticlinal dans la région comprise entre Saint-Laurent et Radicatel se trouve dans le rapport géologique publié par M. le Professeur Munier-Chalmas à l'occasion de l'enquête sur le captage des sources de Radicatel. Il est dit en effet dans ce rapport :

« Les sources de Saint-Laurent comme celles de Radicatel, sortent des couches turonniennes, mais ne doivent avoir aucune communication directe avec ces dernières. En effet, comme toutes les assises crétacées des environs du Havre plongent d'un côté vers le Nord et d'un autre vers l'Est, il résulte de cette disposition stratigraphique qu'il existe dans cette région des plongements périphériques autour d'un pli ou fraction de dôme. Cette disposition géotectonique amène à penser que la nappe aqui-

« fère turonienne peut être divisée en plusieurs secteurs
« indépendants, et que l'écoulement des eaux doit se faire,
« s'il en est ainsi, suivant plusieurs directions, tel serait
« le cas des sources de Radicatel et de Saint-Laurent. »

Personnellement, je serai de l'avis de M. le Professeur Munier-Chalmas : les couches turoniennes d'où émergent les sources de Saint-Laurent et de Radicatel doivent former des secteurs orientés autour d'un axe anticlinal différent de celui de la faille de Lillebonne.

Entre la Seine et la faille de Lillebonne, l'existence d'un anticlinal à axe parallèle à cette faille n'est pas nettement indiqué sur les coupes géologiques n° 1 et n° 2. Cependant, sur la coupe n° 1, l'allure un peu irrégulière de la craie, légèrement marquée sur la carte géologique, indique un léger relèvement des couches du Cénomanién dans la région du cap d'Antifer. Ce relèvement pourrait correspondre à un léger bombement, avec portion de pli très court vers le Sud-Est, vers un synclinal très rapproché dans la région de la source de Bruneval, où le Cénomanién est au-dessous du niveau de la mer. Ce synclinal pourrait correspondre à la ligne des sources importantes de Notre-Dame-du-Bec et de Saint-Laurent. Mais ce plissement est très peu marqué sur la coupe n° 2; tout au plus, remarquerait-on un épaississement des couches du Cénomanién dans la région de Saint-Vigor et pointe du Hode. Mais dans cette région on peut aussi bien expliquer cet épaississement par un anticlinal appartenant à la série des plis à axe perpendiculaire à celui de la faille de Lillebonne. En effet, si nous jetons un coup d'œil sur la carte des ondulations de la craie (fig. 2), nous voyons que certains plis à axe Sud-Ouest-Nord-Est intéressent la craie vers le Sud-Ouest bien au-delà de la cassure de la faille Fécamp-Lillebonne-Rouen, etc., et se retrouvent au-delà de la Seine. D'après cette constatation, il est vraisemblable d'admettre que tous les plis situés au Nord de cette faille, et dont le prolongement traverse notre région, peuvent exister et avoir eu une action plus ou moins marquée sur la disposition stratigraphique des couches géologiques du bassin d'alimentation de

nos sources. Or, le prolongement de l'axe anticlinal Dieppe-Saint-Valéry-Fruges tombe précisément dans la partie moyenne de la région comprise entre Saint-Laurent-de-Brèvedent et de Radicatel. Il peut donc y avoir deux pendages à pente diamétralement opposée, l'une vers le Nord-Ouest, l'autre vers l'Est-Sud-Est du fait de l'existence probable de cet anticlinal. Par suite des angles des cassures indiquées sur le travail de M. Hébert pour ce pli assez tourmenté, la portion de ce bombement dans les bassins d'alimentation de nos sources devrait, à mon avis, suivre une ligne partant des environs de Saint-Vigor (Pointe du Hode), et allant rejoindre la faille de Lillebonne vers Vattetot.

Un élément favorable à l'existence de l'anticlinal à axe Sud-Ouest → Nord-Est entre Radicatel et Saint-Laurent est la pente que l'on observe dans les couches géologiques à l'Ouest de la ligne que nous venons d'indiquer, dans les directions parallèles à la faille de Lillebonne-Fécamp. En effet, si l'inclinaison n'était influencée que par l'action du plissement à axe Nord-Ouest → Sud-Est, il n'y aurait aucune pente sur la ligne parallèle à la faille de Lillebonne, ligne perpendiculaire à la ligne de grande pente du pendage. La vérification de cette pente peut se faire sur les coupes n° 1 et n° 2 cotées, où les terrains ont été repérés autant qu'il a été possible de le faire d'après les renseignements des coupes existantes et de nombreuses reconnaissances sur place.

Si, donc, d'après les cartes de ces coupes n° 1 et n° 2 et les niveaux géologiques dans les vallées de Saint-Laurent et de la Lézarde, on trace une coupe géologique (coupe n° 3) de Saint-Jouin à la vallée de la Seine, suivant une parallèle à la faille Lillebonne-Fécamp, on remarque nettement une pente assez prononcée vers le Nord-Ouest. Les couches turoniennes qui, sur les falaises de la Seine, à la limite supérieure, sont au haut de ces falaises, vers la cote 80, sont déjà à la cote 70 dans la vallée de Saint-Laurent et à la cote 60 sur les falaises au bord de la Manche. Il y a là, me semble-t-il, un indice de plus en faveur d'un anticlinal à axe Sud-Ouest → Nord-Est dans la région que nous venons

de citer. Comme autre argument en faveur de l'existence de deux pendages des couches, l'un vers le Nord-Ouest et l'autre vers l'Est-Sud-Est, de part et d'autre d'un bombement qui irait de la Pointe du Hode à Vattetot, on peut invoquer la direction des canaux aquifères du Turonien, direction réglée surtout par la pente des couches et par la résistance de la roche. Les canaux importants que l'on rencontre le long des falaises du Havre à Fécamp (source Lacorne, sources de Bruneval, sources « des Pisseuses », source de Grainval), coulent du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Cette trajectoire du filet d'eau est due vraisemblablement au pendage des terrains vers le Nord-Ouest. Il en est de même dans la vallée de la Lézarde (Montivilliers, Notre-Dame-du-Bec) pour les canaux souterrains qui émergent de la falaise gauche de la vallée de la Lézarde. Même direction du Sud-Est vers le Nord-Ouest dans la vallée de Gournay-Saint-Laurent. Cette orientation des filets d'eau est très fortement marquée, comme on peut le voir sur le plan des sources aux galeries de captage du « Câtillon » et aux drains des « Grandes-Sources ». Dans la vallée de la Seine, au vallon de Rogerville et Oudalle, on rencontre encore, sur le côté Est, des canaux aquifères qui ont une direction Sud-Est-Nord-Est. Dans la région de Saint-Vigor, qui correspond au bombement et à la partie la plus haute des couches, pas de canaux aquifères au bas de la falaise. Après Saint-Jean-d'Abbetot, dans la région de Cressonval, on trouve, au contraire, des canaux aquifères de direction Nord-Ouest vers l'Est-Sud-Est, direction diamétralement opposée à celle dont nous parlions tout à l'heure, et que nous ne pourrions guère attribuer qu'au pendage des couches vers l'Est-Sud-Est sur l'autre versant de l'anticlinal. Même sens des tunnels aquifères aux sources du vallon de Tancarville, aux sources de « Broui-Cérès », et aux sources avoisinantes de la propriété Mabire.

A la suite de toutes ces considérations, d'après l'examen de la carte des plis de la craie et des coupes géologiques, on peut admettre que les couches de la craie, et notamment les couches de la craie turonienne, se présentent entre

Octeville, Harfleur et la vallée de Lillebonne, comme un toit à double versant, qui s'appuierait sur un mur élevé, les falaises de la Seine, et descendrait vers la ligne de la faille de Fécamp-Lillebonne où il plongerait sous le sol.

Le versant Nord-Ouest du toit, plus ou moins ondulé, peut-être par un synclinal Saint-Laurent-Notre-Dame-du-Bec-Bruneval, s'inclinerait vers la Manche. Le versant Est-Sud-Est s'inclinerait vers l'extrémité de la vallée de Lillebonne et la partie voisine de la vallée de la Seine aux environs de Tancarville.

Le versant Nord-Ouest présente deux coupures très fortes formées par la vallée de la Lézarde (Harfleur-Montivilliers-Notre-Dame-du-Bec), et par la vallée de Gournay-Saint-Laurent. Ces vastes coupures, dues aux grands courants anciens d'eaux qui ont érodé les masses crayeuses et leur ont donné le relief superficiel actuel, ont sectionné les couches géologiques, et, partout où affleurent les zones aquifères, les eaux s'écoulent le long du flanc de ces vallées. La coupe n° 3 nous montre que, dans le village de Saint-Laurent et ses environs immédiats, le Turonien moyen et inférieur affleure à la cote 40^m-45^m. Or, nos sources émergent aux cotes 41^m, 40^m80, 40^m4, 39^m1. Cette concordance parfaite des cotes prouve que nos sources de Saint-Laurent appartiennent bien à la zone aquifère du Turonien moyen. Les couches aquifères du Cénomaniens se trouvent à un niveau bien inférieur à celui du sol du fond de la vallée en ce point.

Le versant Est-Sud-Est présente une coupure assez marquée, le vallon de Tancarville, et une section extrêmement profonde constituée par la portion de vallée de la Seine, entre Tancarville et la vallée de Lillebonne. Le Turonien moyen et inférieur affleure dans cette partie de la vallée de la Seine, au niveau des alluvions de la Seine, à la cote 3^m à 5^m environ. La source de « Broui-Cérès » émerge à la cote 4^m90. Ce qui indique encore que les sources du bas de la falaise de Radicatel appartiennent aussi au niveau aquifère du Turonien moyen. Car, ici aussi, le niveau d'eau du Céno-



Cliché F. Daligault.

FIG. 3. — Falaise de la Manche entre Bruneval et Saint-Jouin dans la région de la plus grande épaisseur de la craie turonienne.

On remarque la rareté des diaclases verticales et l'abondante couche d'argile à silex qui remplit les parties érodées de la craie senonienne. En bas, vers le milieu de la photographie, on voit quelques faibles canaux aquifères qui circulent dans un banc tendre et se déversent sur le galet de la plage.

manien et de l'Albien ne serait rencontré qu'à 72 mètres environ au-dessous du sol de la vallée de la Seine.

Maintenant que nous connaissons le niveau aquifère auquel appartiennent nos eaux d'alimentation, il nous est facile de savoir quelles sont les couches parcourues par ces eaux. C'est pourquoi nous croyons utile de donner quelques renseignements sur la nature et la structure de ces couches et sur la façon dont les eaux les traversent.

Nos eaux séjournent et s'écoulent dans les terrains crayeux du Sénonien et du Turonien. C'est ce qui expliquera facilement, plus loin, le caractère assez calcaire de ces eaux que nous révélera l'analyse chimique.

La craie sénonienne est formée de craie tendre avec des bancs de silex zonés plus ou moins noirs. La craie turonienne supérieure, qui lui fait suite au-dessous, est, elle aussi, formée par des bancs plus ou moins tendres de craie blanche avec bancs de silex noir; ces bancs alternent soit avec des couches de craie noduleuse, les uns très tendres, les autres relativement durs. Plus rarement, on trouve des bancs très compacts et très durs. A la partie moyenne et inférieure du Turonien, on trouve de la craie grise marneuse avec des rognons de silex. Ce sont ces couches marneuses et compactes qui arrêtent une partie des eaux infiltrées dans la craie sénonienne et turonienne supérieure. Les bancs de craie sont liés, cimentés entre eux, et la coupe des assises crayeuses montre une masse généralement très homogène. On peut se rendre compte de cette homogénéité, au moment de la chute de parties entières de collines au bord des falaises de Tancarville, dans les abatis des carrières des travaux d'endiguement de la Seine. Cette homogénéité n'est pas seulement particulière à la région de Tancarville; nous la rencontrons sur toute l'étendue des falaises du Havre à Lillebonne et du Havre à Fécamp, sur une étendue d'environ 75 kilomètres. Sur ces coupes naturelles, on remarque en effet que la craie sénonienne et turonienne du Pays de Caux est simplement ouverte par quelques fractures très espacées peu importantes et par des diaclases très faibles souvent colmatées par de l'argile

à silex. Sur notre plateau, même dans la région des sources de Radicatel, où l'action érosive des eaux anciennes a été le plus marquée, on ne rencontre aucune de ces fractures énormes que l'on voit dans d'autres pays crayeux, aucun de ces gouffres, « avens » ou « bétaires » béants, énormes, où des rivières importantes sont capables de disparaître.

Comme le fait très justement observer M. le Professeur Munier-Chalmas, on ne constate pas dans nos masses crayeuses de grandes cavités vauclusiennes, dont l'écroulement des voûtes sous l'action érosive et corrosive de masses énormes d'eau, chargées d'acide carbonique, est capable de produire des fissures énormes dans toute la hauteur de la craie.

Ces quelques mots sur la texture du terrain dans notre région, nous permettent d'expliquer en quelques lignes le mécanisme de la descente et de la circulation de nos eaux dans la profondeur du sol.

Comme l'ont démontré les patients travaux de M. Martel et de nombreux de ses élèves, il n'existe pas dans les terrains crayeux de nappe d'eau uniforme, même au niveau des couches moins perméables qui arrêtent ou ralentissent fortement la descente des eaux. Les gouttelettes d'eau de pluie ou de condensation, tombées sur le sol, s'infiltrent dans la craie soit dans les fissures ouvertes, soit dans les fissures colmatées par des parties argilo-sableuses, soit par imbibition et capillarité dans la craie homogène tendre et poreuse. Ces gouttelettes se rassemblent en certains points, circulent dans de petits canaux dont certains sont remplis de sable et d'argile, résidus de la dissolution du calcaire par l'eau chargée d'acide carbonique. Ces tout petits ruisselets, « les pleureurs » de nos marniers et puisatiers, glissent entre deux bancs par des fissures plus ou moins sinueuses, traversent parfois un autre banc, soit par une fissure, soit par filtration dans la masse. Arrivés à la craie turonienne moyenne, plus compacte, plus marneuse, ces petits ruisselets trouvant un obstacle à leur descente, se réunissent entre eux et finissent par former de véritables petits ruisseaux souterrains. Ces ruisseaux souterrains du



Cliché F. Daligault.

FIG. 4. — Falaises de la Manche, source de Bruneval.

Canaux aquifères du Turonien montrant la circulation sans nappe dans un banc tendre entre deux bancs durs. — Au-dessus et à droite de la personne assise on voit le tunnel du canal souterrain. — A gauche, on voit le banc de craie tendre érodé et dissous par les coups de mer.



Cliché F. Daligault.

FIG. 5. — Falaises de la Vallée de la Seine.

Canal aquifère puissant du Turonien, confluent de plusieurs canaux. — Source Mabire que la Ville du Havre se propose de capter près de la source de « Broui-Cérès », vallée de la Seine, Radicatel.

Turonien moyen circulent souvent entre deux bancs d'inégale résistance au moyen d'un chenal très surbaissé de 0^m20 à 0^m50 de hauteur, parfois assez large. La largeur de ce chenal est le plus souvent inférieure à un mètre, mais elle peut atteindre cinq mètres et plus. Le débit de ces ruisseaux varie de quelques litres à 15.000 et 20.000 mètres cubes par 24 heures.

En résumé, dans les masses crayeuses turoniennes du Pays de Caux comprises entre la Manche, la Seine et la faille de Fécamp-Lillebonne, les masses d'eaux importantes paraissent surtout circuler à l'état de petits canaux ou de petits ruisseaux souterrains. Peut-être, sur certaines parties peu déclives, dans les zones de bancs très marneux et durs et dans les vallées et régions des synclinaux, trouverait-on des petites nappes souterraines discontinues et d'étendue très faible. Cette distribution de l'eau dans la profondeur du sol de notre région doit rendre très prudent dans la recherche de masses d'eau importantes par puits. On saura très bien à quel niveau on rencontrera la zone aquifère, mais dire qu'on y trouvera sûrement de l'eau et cette dernière en abondance, serait, à mon avis, très imprudent. Car on peut très bien dans les forages ou galeries ne recouper aucun ru souterrain important. Aussi, la solution rationnelle de l'alimentation en eau des agglomérations de ce plateau, très mal partagé à ce point de vue, doit consister dans le captage des eaux où elles apparaissent, au flanc des falaises et des vallées et à les refouler sur le plateau. Ces installations rendraient les plus grands services à ce magnifique pays dont elles augmenteraient la richesse. Mais elles ne peuvent se faire que grâce à l'initiative du Département, de syndicats puissants communaux et de l'Etat.



Cliché F. Daligault.

FIG. 6. — Canaux aquifères du Turonien, vallée de Saint-Laurent-Gournay.

III

RÉGIME ET DÉBIT DES SOURCES

Les études de M. Meurdra, ancien lieutenant-colonel du génie, Directeur de la Compagnie des Eaux, l'observation des graphiques de M. Lefebvre, Ingénieur du Service des Eaux de la Ville du Havre, et les vérifications que j'ai pu faire pendant vingt ans, établissent nettement que le régime des sources qui alimentent notre cité est intimement lié à la quantité d'eau tombée sur le plateau Harfleur-Gainneville-Saint-Romain-Tancarville, etc. Mais, la quantité d'eau des pluies annuelles retrouvées aux sources est faible, eu égard à la quantité tombée. Ceci n'a rien de surprenant, si on tient compte de la nature du terrain, qui sert de filtre, et ensuite de la perte par évaporation et par ruissellement.

Le plateau d'où émergent nos sources est recouvert, en de nombreux points, d'argile à silex qui ne laisse passer de l'eau que dans les parties où elle est sableuse, et dans les interstices laissés entre les morceaux de silex. La pénétration de l'eau ne se fait surtout que dans les parties du plateau où la craie, notamment la craie sénonienne tendre, y affleure. L'eau s'infiltré surtout sur le flanc des vallées, dans les vallons, dans les creux, dans les plissements où la couche argileuse est faible et où la craie affleure au niveau du sol. Bien que la perméabilité ne soit pas continue, elle paraît cependant assez élevée pour notre plateau. Quand on le parcourt, on est assez surpris de voir des champs immenses sans fossés, tranchées qu'on observe toujours dans les terrains imperméables; et il faut des pluies extrêmement persistantes pour voir les eaux s'accumuler dans les creux et les petits vallonnements.

Comme nous l'avons dit plus haut, à la cause de perte d'eau due à l'imperméabilité de certains points du terrain, nous devons ajouter la perte due au ruissellement et à l'évaporation. Dans les parties trop déclives, l'eau de pluie glisse rapidement sur le sol et n'a pas le temps de s'infiltrer avant d'arriver au niveau d'émergence des sources.

Cette eau s'écoule dans les ruisseaux et rivières des vallées. Enfin, une forte partie de l'eau tombée s'évapore sous l'action de la chaleur, du vent, et sert à la formation et à la transpiration des végétaux. Cette dernière portion nécessaire aux plantes peut correspondre à une quantité d'eau de 13 à 24 centimètres de pluie tombée sur le sol suivant la nature du végétal et la durée de la végétation.

Par suite de ces pertes d'eau de toute nature, les pluies ne sont très efficaces pour les sources que si elles sont importantes et surtout continues. M. Meurdra a établi que seules étaient surtout efficaces les pluies d'hiver, plus faiblement les pluies d'automne et de printemps. La période la plus utile s'étend de septembre à mai, période pendant laquelle les pluies sont fréquentes et la température moyenne à 9 heures du matin reste au-dessous de $+ 13^{\circ}$ en automne et de $+ 11^{\circ}$ au printemps. Nous estimons qu'il y a lieu dans l'établissement du coefficient de pluies efficaces de tenir compte dans une faible mesure des pluies d'été, dont M. Meurdra ne semble pas, avec d'autres hydrologues, tenir compte, et des condensations de toute nature qui peuvent se produire à la surface du sol. Les auteurs qui se sont occupés de cette question, fixent le coefficient d'absorption à un quart ou un cinquième de la pluie totale dans les terrains de perméabilité moyenne. Mais ce coefficient peut s'élever pour les terrains très fendillés du jurassique supérieur ou les terrains crayeux très fissurés.

Dans notre cas, pour tenir compte des quelques pluies efficaces de mai à septembre, des condensations dues à la gelée et aux rosées, nous porterons ce coefficient au tiers de la pluie tombée pendant les huit mois de période humide (automne, hiver, printemps). Ce chiffre est très voisin du

chiffre 0.32, fixé pour les sources de l'Avre, en Normandie, par M. Dienert, mon camarade, chef du Service de la Surveillance des Eaux d'Alimentation de la Ville de Paris, d'après la relation entre le débit de ces sources et les chiffres de hauteur d'eau tombée sur leur plateau d'alimentation. Ce terme de comparaison et de base nous paraît assez sûr, car les sources de l'Avre sont situées dans une région de Normandie assez voisine de la nôtre et, par conséquent, assez comparable au point de vue régime des pluies. Elles émergent aussi du même niveau géologique, la craie turoennienne. Nous ferons cependant remarquer que dans notre région, la craie nous semble moins fissurée et que si nous avons pris un coefficient un peu élevé, eu égard à la perméabilité de notre bassin d'alimentation, c'est pour tenir compte des pluies efficaces d'été et de la perte d'eau qui échappe à nos contrôles dans la profondeur des couches géologiques inaccessibles.

La moyenne de hauteur d'eau de pluie tombée au Havre et ses environs, pendant la saison humide, septembre-avril, période des pluies les plus efficaces, est en moyenne de 585 millimètres, soit une hauteur d'eau de 195 millimètres utile pour les sources.

Les travaux de M. Meurdra sur les sources de Bellefontaine et les graphiques des débits mesurés par M. Lefebvre, Ingénieur du Service des Eaux, établissent que le débit commence à être influencé quarante-cinq à soixante jours après les pluies. On observe de même que la durée de l'écoulement de la plus grosse partie du contingent d'eau de pluie infiltrée, qui arrive aux sources, est de 19 à 29 mois. 60 o/o de ce contingent s'écoule la première année, 20 o/o la deuxième, 20 o/o pendant quatre ou cinq ans.

D'après ces données, j'ai établi le graphique n° 5 qui donne la hauteur de pluie tombée pendant la période des mois humides, automne, hiver, printemps, la quantité d'eau efficace et une courbe donnant l'allure de l'écoulement de l'eau infiltrée correspondant à cette période. Le maximum du débit a lieu en juillet-août de l'été qui suit

la chute des pluies efficaces d'hiver. Le minimum a lieu généralement vers fin novembre-décembre, l'action des pluies ne se faisant guère sentir aux sources que deux mois environ après les pluies d'automne. Les graphiques du Service des Eaux indiquent bien, en effet, que la superposition des courbes, semblables à celles du n° 5, correspondant à plusieurs années, amène généralement des maxima vers août et des minima vers novembre-décembre.

Le débit de nos sources, comme celui de toutes les sources des terrains fissurés de la craie, est assez variable. Dans le tableau suivant, j'ai rapporté les variations extrêmes et les moyennes de débit constatées depuis 1859 jusqu'à 1920, sur nos différentes sources de Saint-Laurent et depuis 1903 jusqu'à 1920 pour celle de « Broui-Cérès » (Radicatel).

Débit des sources de Saint-Laurent

	Débit en mètres cubes par 24 heures		
	Maximum	Moyen	Minimum
Source de « l'Eglise »	1.037	570	0
Source des « Grandes Sources » . . .	9.430	3.150	0
Source des « Pruniers »	5.722	1.630	0
Source du « Câtillon »	27.860	16.050	4.000
Débit total des sources	43.049	21.400	4.000

Le minimum du débit a été observé à la fin du novembre 1859; toutes les sources amont : « Eglise », « Grandes Sources », « Pruniers » avaient cessé de couler. Le maximum a été observé en août 1879. Ces chiffres montrent les énormes variations de débit des sources de la craie. Aussi lorsqu'une agglomération urbaine voudra établir un projet d'adduction d'eau en pays crayeux, il faudra rechercher une région où les sources à grand débit sont nombreuses et acheter assez de sources en vue des

installations futures ou des installations de fortune en cas de sécheresse.

Débit de la source « Broui-Cérès »
(Saint-Nicolas-de-la-Taille) [Radicatel]

	Débit en mètres cubes par 24 heures		
	Maximum	Moyen	Minimum
Source « Broui-Cérès »	19.000	18.000	17.000



Cliché F. Daligault

FIG. 7. — Limites du bassin probable des Sources de Saint-Laurent-de-Brèvedent.

On remarque pour cette région l'action peu marquée de l'érosion profonde sur la craie et l'absence de vallées supérieures profondes où des infiltrations dangereuses pourraient se produire.

IV

BASSINS D'ALIMENTATION DES SOURCES

Etant donnée dans la zone du plateau de Caux qui nous occupe, la configuration des couches turoniennes profondément découpées par les vallées de la Seine, de la Lézarde, de Saint-Laurent, de Bolbec, on peut déterminer avec une approximation suffisante, le bassin d'alimentation des quelques sources du réseau turonien qui se déversent dans ces vallées. Nous utiliserons pour cette détermination, en outre de l'inclinaison des couches géologiques, le débit moyen annuel des sources et le coefficient des pluies efficaces.

Bassin des Sources de Saint-Laurent-de-Brèvedent

D'après la pente des couches géologiques due au pendage vers la faille de Lillebonne, le bassin des sources de Saint-Laurent est limité : au Sud, par la ligne des falaises bordant la rive droite de la Seine, de la pointe de Gonfreville-l'Orcher à la pointe du Hode (Sandouville); à l'Ouest-Sud-Ouest par la petite portion de falaise de la rive gauche de la Lézarde dominant Harfleur et ses environs immédiats. En tenant compte de la pente vers le Nord-Est (pendage vers la faille de Lillebonne) et de celle due au bombement probable à axe Pointe-du-Hode - Saint-Romain - Vattetot (pendage vers le Nord-Nord-Ouest), la ligne Saint-Martin-du-Manoir-Epretot-Gommerville sera la ligne des points extrêmes au Nord-Nord-Est d'où l'eau peut s'écouler vers les sources émergeant dans le village de Saint-Laurent. La ligne de la vallée de Gournay-Saint-Laurent, qui coupe les couches turoniennes formera la ligne principale des sources les plus puissantes.

A l'Est-Nord-Est, nous prendrons pour limite la ligne Pointe du Hode, Saint-Romain, Gommerville, Vattetot que nous avons fixée comme position d'un anticlinal appartenant au groupe des plis de la craie à axes orientés sensiblement Sud-Ouest → Nord-Est.

Le polygone, tracé en suivant les lignes que nous venons d'indiquer, et, en retranchant les parties des vallées d'Orcher, Rogerville, Oudalle et Sandouville, où le Turonien présente une discontinuité par suite de l'érosion, a une superficie d'environ : 45.000.000 m².

Si notre détermination se rapproche sensiblement de la vérité, cette surface doit se rapprocher de celle que nous trouverons capable de produire la quantité d'eau correspondant au débit moyen annuel des sources, et sur laquelle serait absorbé le volume que formerait une hauteur d'eau égale au coefficient efficace de pluie. Le calcul nous donnerait :

Volume annuel correspondant au débit moyen des sources :

$$21.400 \times 365 \text{ jours } 25 = 7.816.350 \text{ m}^3.$$

$$\text{Surface} \times 0^{\text{m}}195 = 7.816.350 \text{ m}^3$$

$$\text{d'où surface} = \frac{7.816.350}{0^{\text{m}}195} = 40.083.846 \text{ m}^2 \text{ } 15.$$

Les deux chiffres sont suffisamment concordants, si nous tenons compte que notre bassin alimente quelques sources dans les vallées d'Orcher, Rogerville, Oudalle, Sandouville et dans la vallée de Saint-Laurent jusqu'à Gournay.

Le bassin s'étend sur le territoire des communes : Gouffreville-l'Orcher (partie), Gainneville, Rogerville, Saint-Laurent-de-Brèvedent, Routot, Saint-Aubin, Oudalle, Saint-Vigor, Sandouville, Saint-Romain (partie), Epretot, Sainneville (partie), Saint-Martin-du-Manoir (partie).

Bassin des Sources de Radicatel

Pour la source de « Broui-Cérès » et les sources du même groupe, situées au voisinage immédiat dans la propriété Mabire, vers l'église de Radicatel, le bassin d'alimentation



Cliché F. Daligault.

FIG. 8. — Limites du bassin probable d'alimentation des sources de Radicatel « Broui-Cérès » et sources Mabire.

On remarque la profonde vallée de Tancarville, La Cerlangue, Les Trois-Pierres, Mélamare, Saint-Nicolas-de-la-Taille, zone dangereuse de ce bassin.

serait limité : au Sud, par une ligne Saint-Vincent-Cramesnil, La Cerlangue, Saint-Nicolas-de-la-Taille, église de Radicatel; à l'Ouest-Nord-Ouest, par l'axe de l'anticlinal probable, Pointe du Hode (Sandouville), Saint-Romain Vattetot; à l'Est-Nord-Est, par une ligne Radicatel, Saint-Antoine-la-Forêt, Saint-Eustache-la-Forêt, ligne la plus extrême, d'où l'eau peut s'écouler vers les sources Saint-Nicolas et Radicatel, en tenant compte de la pente due au pendage vers la faille de Lillebonne et à celle du pendage vers le Sud-Est, résultant du bombement probable Pointe du Hode-Gommerville-Vattetot.

La surface du triangle limité par les lignes indiquées ci-dessus est d'environ 47.500.000 m².

Un calcul semblable à celui fait pour les sources de Saint-Laurent nous donnerait, d'après le débit moyen et le coefficient de pluies efficaces :

Volume annuel correspondant au débit moyen
de la source « Broui-Cérès » :

$$18.000 \times 365 \text{ jours } 23 = 6.574.500 \text{ m}^3.$$

$$\text{Surface} \times 0^{\text{m}}195 = 6.574.500 \text{ m}^3$$

$$\text{d'où surface} = \frac{6.574.500}{0^{\text{m}}195} = 33.715.394 \text{ m}^2 \text{ 61.}$$

La concordance est encore très suffisante, si on tient compte que le bassin d'alimentation fournit aussi de l'eau aux sources puissantes très voisines de la propriété Mabire, près de l'église de Radicatel, ainsi qu'aux sources du vallon de Tancarville, sources du Four-des-Vaux et de l'Etang: le bassin s'étend sur le territoire des communes : Saint-Vincent - de - Cramesnil (partie), Saint - Romain (partie), Saint - Jean - d'Abbetot, Tancarville, La Cerlangue, La Remuée, Les Trois - Pierres (partie), Mélamare, Saint - Antoine-la-Forêt (partie), Saint-Eustache-la-Forêt (partie), Saint-Nicolas-de-la-Taille, Saint-Jean-de-la-Neuville, Beuzeville (partie).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET COMPOSITION CHIMIQUE

Caractères Physiques

Les eaux sont d'une limpidité caractéristique et d'une transparence parfaite, de couleur légèrement bleutée, lorsqu'on les regarde sous une assez grande épaisseur. Les eaux de Saint-Laurent ne sont jamais troubles, à l'exception de la source « des Pruniers » et des « Grandes Sources », qui ont troublé deux ou trois fois dans une période de vingt ans, à la suite de trombes d'eau ou de fontes de neiges absolument violentes et tout à fait anormales.

Les eaux des sources de Radicatel « Broui-Cérès » sont plus sujettes à se troubler et ce trouble s'observe généralement chaque un ou deux ans, à la suite des pluies très violentes exceptionnelles (deux à trois au maximum dans une année).

La température prise aux sources est peu variable et se maintient sensiblement aux environs de 10° à 12°.

Aux bornes-fontaines et sur les canalisations en ville, cette température est forcément plus variable; elle suit les variations de la température extérieure. Les oscillations de la température sont résumées dans le tableau ci-contre et figurées sur les courbes graphiques n° 6 pour les eaux de Saint-Laurent.

Température moyenne de l'Eau potable (Sources de Saint-Laurent)

LIEU D'OBSERVATION	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Saint-Laurent. (Aux sources.)	9°8	10°5	11°	11°5	12°	12°2	12°5	12°7	12°5	12°	11°5	10°5
Havre. (Aux bornes-fontaines.)	8°	8°3	8°7	9°8	12°	14°8	15°4	15°8	14°3	12°3	10°5	8°5

Température moyenne de l'Air

Havre. (Observatoire météorologique, 1 mètre au dessus du sol.)	3°5	4°6	6°5	9°7	12°8	16°5	18°5	19°	16°5	11°6	8°2	4°7
---	-----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	------	------	-----	-----

Composition Chimique

La composition chimique très peu variable de nos eaux rapportée dans les tableaux suivants, indique une constitution calcaire (bicarbonatée-calciqne) assez marquée.

Le degré hydrotimétrique, la teneur en résidu sec, en chaux, sulfates, nitrates, permettent de les classer dans la catégorie des eaux potables de bonne qualité. La teneur en chlorures est élevée. Cette teneur élevée, qui dans certains cas est un indice défavorable, ne doit pas nous inquiéter si nous faisons intervenir le facteur particulier du voisinage de la mer, qui influe dans une large mesure sur la quantité de chlore contenu dans les eaux de sources qui sont situées dans ce voisinage. Bien qu'émergeant à 12 et 27 kilomètres de la mer, nos eaux sont influencées par elle. J'ai pu constater que par temps de grands vents et tempêtes, les embruns salés atteignent et dépassent la région de Bréauté-Beuzeville, à en juger par leur action sur les arbres de ces régions.

ANALYSE CHIMIQUE

des Eaux des sources de Gournay-St-Laurent-de-Brèvedent,

servant à l'alimentation de la Ville du Havre,

par M. Eugène MARCHAND.

(Année 1877.)

PRINCIPES DISSOUS	Par litre d'eau (en milligrammes)
Air atmosphérique	20.2
Acide carbonique libre	15.6
Chlorure de potassium.....	2.9
» » sodium	22.3
» » lithium.....	Indices
» » magnésium.....	3.6
» » calcium	1.2
Iodure } Bromure } alcalins	Indices
Bi-Carbonate d'ammoniaque.....	2.5
» de chaux	306.1
» » magnésie	7.0
» » manganèse.....	Indices
» » fer	Traces
Sulfate de chaux	6.0
Nitrate de chaux	15.7
Alumine, phosphate d'alumine.....	17.0
Oxydes de fer et de manganèse (fluorure de calcium)	
Matières organiques.....	0.5

ANALYSE CHIMIQUE

des Eaux des sources de Saint-Laurent-de-Brèvedent,

d'après M. OGIER, Directeur du Laboratoire de Toxicologie de Paris.

Enquête de MM. les Docteurs BROUARDEL et THOINOT.

(Année 1888.)

Degré hydrotimétrique total..... 22°

PRINCIPES DISSOUS	Par litre d'eau (en milligrammes)
Extrait sec.....	300.0
» au rouge.....	255.4
Différence (perte au rouge).....	44.6
Chlore exprimé en Cl.....	19.5
Acide nitrique en AZO^3H	22.0
» sulfurique en SO^4H^2	4.6
Silice.....	10.0
Ammoniaque.....	0.1
Chaux.....	121.5
Magnésie.....	8.3
Oxygène dissous.....	7.2
Matières organiques exprimées en oxygène solution acide.....	0.8

ANALYSE CHIMIQUE

des Eaux des sources de Saint-Laurent-de-Brèvedent.
Moyenne des analyses exécutées au Laboratoire Municipal,
de 1901 à 1921, par M. J. SANARENS.

Degré hydrotimétrique	{ total.....	22
	{ permanent.....	6

PRINCIPES DISSOUS	Par litre d'eau (en milligrammes)
Résidu à 110°.....	299.0
» après calcination au rouge.....	254.0
Perte au rouge.....	45.0
Chlore exprimé en NaCl.....	36.25
» » Cl.....	22.00
Acide nitrique (nitrates) exprimé en NO ³ H..	14.00
» sulfurique (sulfates) exprimé en SO ³ ..	4.90
» phosphorique.....	Traces extrêmement faibles
Silice exprimée en SiO ²	16.00
Ammoniaque » NH ³	Néant
Chaux » CaO.....	125.0
Magnésie » MgO.....	6.5
Alumine » Al ² O ³	4.0
Fer et manganèse.....	Traces
Iodures et bromures alcalins.....	(traces, dès au voisinage de la mer, très difficiles à déceler sur le résidu de très nombreux litres)

Oxygène dissous	{ en poids.....	6.5
	{ en volume.....	4 cc
Matières	{ en oxygène.....	{ solution acide..... 0.41
		» alcaline... .. 0.41
organiques	{ en acide oxalique	{ solution acide..... 3.29
		» alcaline... .. 3.29

COMPOSITION PROBABLE

Carbonate de calcium.....	209.92
Nitrate de calcium.....	18.51
Sulfate de calcium.....	4.60
Carbonate de magnésium.....	5.19
Chlorure de magnésium..	4.08
Sulfate de magnésium.....	4.60
Chlorure de sodium.....	31.22
Silicate d'alumine.....	8.44
Silice.....	7.56

ANALYSE CHIMIQUE

des Eaux de la source « Broui-Cérès », Radicatei,
par le Laboratoire du Comité Consultatif d'Hygiène de France.

(Année 1901.)

Degré hydrotimétrique { total..... 23°0
 permanent..... 6°5

PRINCIPES DISSOUS	Par litre d'eau (en milligrammes)
Résidu à 110°.....	313.0
» après calcination au rouge	289.0
Perte au rouge	24.0
Chlore exprimé en NaCl	30.4
» » Cl.....	18.4
Acide nitrique (nitrates) exprimé en NO ³ H. .	16.4
» sulfurique (sulfates) exprimé en SO ³ ..	6.1
» phosphorique.....	Traces très faibles
Silice exprimée en SiO ²	40.0
Ammoniaque » NH ³	0
Chaux » CaO	120.4
Magnésie » MgO	8.2

Oxygène dissous { en poids..... 10.37
 en volume..... 7 cc 25

Matières { en oxygène..... { solution acide..... 0.5
 » alcaline..... 0.5
organiques { en acide oxalique { solution acide..... 3.94
 » alcaline..... 3.94

COMPOSITION PROBABLE

Carbonate de chaux en CO³ Ca..... 194.6
Sulfate de chaux en SO⁴ Ca 10.3
Carbonate de magnésie en CO³ Mg 17.2
Chlorure de sodium NaCl..... 30.4
Silice en SiO² 40.0

ANALYSE CHIMIQUE

des Eaux de la source « Broui-Cérès », Radicatel.

Moyenne des analyses exécutées au Laboratoire Municipal,
de 1901 à 1921, par M. J. SANARENS.

Degré hydrotimétrique	{	total.....	22°5
		permanent.	6°5

PRINCIPES DISSOUS		Par litre d'eau (en milligrammes)
Résidu à 110°		315.0
» après calcination au rouge		281.0
Perte au rouge		34.0
Chlore exprimé en NaCl		32.4
» Cl		49.5
Acide nitrique (nitrates) exprimé en NO ³ H.		17.0
» sulfurique (sulfates) exprimé en SO ³		5.9
» phosphorique.		Traces très faibles
Silice exprimée en SiO ²		36.0
Ammoniaque » NH ³		Néant
Chaux » CaO		121.2
Magnésie » MgO		8.0
Alumine » Al ² O ³		6.0
Fer et manganèse		Traces
Iodures et bromures alcalins		Indi- ces, dus au voisinage de la mer, très difficiles à déceler sur
Oxygène dissous	en poids	7.5
	en volume	5 cc 24
Matières organiques	en oxygène	solution acide..... 0.6 » alcaline..... 0.6
	en acide oxalique	solution acide..... 4.73 » alcaline..... 4.73

COMPOSITION PROBABLE

Carbonate de calcium	200.73
Nitrate de calcium	22.12
Sulfate de calcium	5.20
Carbonate de magnésium	11.03
Chlorure de magnésium	3.10
Sulfate de magnésium	4.27
Chlorure de sodium	28.34
Silicate d'alumine	13.20
Silice	29.00

VI

RECHERCHES BACTÉRIOLOGIQUES

Les espèces microbiennes et espèces vivantes trouvées dans les eaux des sources d'alimentation de la Ville du Havre, appartiennent aux espèces vulgaires généralement non pathogènes et saprophytes de l'eau, de l'air ou du sol.

Celles qui ont été rencontrées par nous, ou par les analystes, qui ont eu occasion d'examiner nos eaux, appartiennent aux espèces suivantes :

Bactériacées

<i>Micrococcus</i>	<i>Bacilles</i>
Micrococcus albus.	Bacillus acrophilus.
» aurantiacus.	» aquatilis sulcatus.
» candidus.	(Weichselbaum).
» cinnabareus.	» bruneus.
» luteus.	» coli communis.
» radiatus,	» fluorescens liquefaciens
	» fluorescens putridus.
	» ochraceus.
	» subtilis.
	» termo (Dujardin).

Champignons

Mucor mucedo.
Penicillium glaucum.
Penicillium album.
Levure blanche.

A la lumière, dans les récipients ou sur leurs parois où circule l'eau longtemps, on rencontre des algues appartenant aux familles suivantes : conjuguées, confervacées.

NOMBRE DES MICROBES AÉROBES PAR CENTIMÈTRE CUBE

(Eau des sources de Saint-Laurent-de-Brévedent prise aux sources et sur la canalisation aux bornes-fontaines en ville)

Moyenne de la numération sur plaque de gélose au bouillon peptoné.

MOYENNE DES ANALYSES MENSUELLES

ANNÉES	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre		
	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum	minimum	moeyenne	maximum
1902..	48	38	53	18	18	48	6	18	32	3	13	18	4	19	30	4	13	38	11	13	22	4	183	418	2	34	251	4	107	400	10	13	42	3	41	181
1903..	40	73	155	7	26	64	3	62	222	3	27	93	14	37	70	3	86	446	10	90	209	15	38	60	13	73	323	12	63	207	7	37	122	15	38	135
1904..	12	89	185	6	18	35	16	17	22	5	10	20	5	125	716	22	22	22	4	21	40	5	48	232	15	19	25	5	29	83	9	26	65	4	148	439
1905..	5	18	52	12	34	65	9	90	265	14	43	80	5	23	40	10	132	285	4	14	50	4	32	70	4	79	382	8	46	180	12	137	525	4	12	35
1906..	10	71	200	6	50	220	5	46	140	8	35	110	5	12	22	3	4	5	6	15	22	4	26	70	8	71	300	20	25	30	4	93	240	8	34	60
1907..	1	13	52	1	7	42	1	2	4	4	27	115	6	86	220	2	10	20	4	16	30	5	10	20	3	13	40	10	47	70	8	33	72	3	22	50
1908..	2	3	4	4	19	50	4	28	60	12	16	40	1	5	20	2	21	85	10	65	250	1	52	507	3	43	126	10	15	25	3	8	12	10	42	75
1909..	10	49	162	4	59	270	5	27	116	15	22	29	6	8	40	6	124	750	13	69	263	8	24	70	16	24	35	6	128	260	15	50	183	6	30	57
1910..	8	20	50	3	45	61	3	21	45	9	14	38	2	16	58	5	32	60	8	45	136	7	38	90	6	27	50	10	54	200	11	40	160	3	20	62
1911..	2	18	48	2	20	49	6	29	60	7	21	79	4	34	270	10	72	140	8	23	180	2	10	53	12	40	90	11	52	150	6	28	70	4	16	52
Moyenne des 10 années.	7	39	96	4	26	87	5	34	96	8	22	61	5	36	147	6	51	185	7	37	120	5	46	159	8	44	162	9	56	159	8	48	149	6	40	114

La proportion des germes que nous venons d'énumérer, trouvés dans nos eaux potables, varie dans certaines limites.

Il est facile de déterminer ces variations par la numération effectuée par la méthode de culture sur plaques de gélatine ou gélose au bouillon nutritif peptoné.

J'ai résumé dans le tableau ci-contre, les résultats des nombreuses numérations que j'ai effectuées sur les eaux de Saint-Laurent pendant une période de dix ans (1902-1911).

Comme on peut s'en rendre compte sur ce tableau, le nombre de microbes trouvés dans l'eau des sources de Saint-Laurent est très peu élevé. Ce nombre oscille entre les limites extrêmes : minimum (1 germe pour 2 centimètres cubes), maximum (750 pour 1 centimètre cube). La moyenne se maintient à 48 par centimètre cube pour une période de dix ans.

D'après la classification adoptée par M. le Dr Miquel, la teneur en germes ferait classer nos eaux de Saint-Laurent comme suit :

Sources de Saint-Laurent

Minimum	1 germe pour 2 ^{cc}	0 à 50	Eaux très pures.
Moyenne	48 » » 1 ^{cc}	50 à 100	Eaux pures.
Maximum	750 » » 1 ^{cc}	500 à 1.000	Eaux riches en bactéries (suspectes).

Pour les eaux de Radicatel, source de « Broui-Cérès », bien que le nombre des numérations que j'ai effectuées sur elles soit moins grand que celui exécuté sur celles de Saint-Laurent, on peut fixer les limites suivantes :

Sources Radicatel (Broui-Cérès)

Minimum	6 germes pour 1 ^{cc}	0 à 50	Eaux très pures.
Moyenne	60 » » 1 ^{cc}	50 à 100	Eaux pures.
Maximum	10.600 » » 1 ^{cc}	1.000 à 10.000	Eaux très riches en bactéries (très suspectes).
(Eau trouble)			

Le bacille d'Eberth, bacille typhique, n'a jamais été trouvé dans les eaux du Havre, bien que de très nombreuses recherches aient été tentées en période normale et en période

d'épidémie de fièvre typhoïde par MM. les Docteurs Thoinot, Miquel, Mosny, Netter, Pottevin et par moi-même.

A ce sujet, je ferai remarquer que la recherche de ce bacille dans l'eau de Saint-Laurent, souillée artificiellement par du bacille d'Eberth ayant vécu longtemps sur la terre humide, est particulièrement difficile, en présence du bacille coli et des espèces saprophytes qui vivent dans nos eaux. Sur une centaine de mes recherches sur cette eau très fortement souillée artificiellement, ce bacille n'a été identifié avec certitude que dans quatre ou cinq expériences.

La survie du bacille typhique dans les eaux potables du Havre peut être d'assez longue durée. Dans l'eauensemencée artificiellement, sans la présence des germes saprophytes de nos eaux, le bacille typhique, exposé à la lumière diffuse du Nord ou à l'obscurité, se conserve plus de cent jours, lorsque l'eau n'est pas renouvelée dans le récipient d'expérience et que l'on part d'une culture contenant très peu de matières organiques. Cette limite doit être considérée comme la limite de conservation pratique, car après cent jours, les cultures deviennent très difficiles à obtenir et elles échouent souvent. Des expériences de M. le Docteur Pottevin, que nous rapportons plus loin, démontrent que dans le sable calciné, le bacille a pu, dans un courant d'eaux calcaires du Havre, se conserver sur ce support sept mois.

Pendant l'épidémie de choléra de 1892, le vibron de Koch n'a pas été trouvé dans l'eau, bien que des recherches aient été effectuées par M. le Docteur Netter, sur cinq ou six échantillons prélevés sur différents points de la canalisation, par MM. les Docteurs Brouardel et Thoinot.

Les espèces putrides, thermophiles, fluorescentes, apparaissent quelques fois dans nos eaux (dans 14 o/o des prélèvements environ, d'après la moyenne relevée sur mille analyses). L'apparition de ces derniers germes coïncide toujours avec une augmentation très notable du nombre de germes à la suite des fortes pluies.

Le bacterium coli est rencontré très fréquemment dans nos eaux, dans 96 o/o des prélèvements, pour une prise

d'au moins 100 centimètres cubes, chiffre très voisin du chiffre 91.6 o/o trouvé en 1902, pour les eaux de la Vanne, par M. Miquel. Le bacterium coli est absent lorsque le nombre des autres germes est très faible et généralement égal à trois ou quatre.

Le bacterium coli est peu abondant dans nos eaux; le nombre de ces germes oscille aux environs de dix par litre. Le maximum trouvé a été de 35 à la source « des Pruniers ».

D'après la classification de M. le Professeur Vincent, nos eaux se classeraient, d'après la teneur en bacterium coli, dans la catégorie des eaux pures ou très pures, pour 4 o/o des prélèvements et dans celle des eaux de bonne qualité ou de qualité assez bonne pour 96 o/o des autres prélèvements.

La présence de bacilles coli en très petit nombre ne doit pas causer de très grandes inquiétudes, ces germes étant extrêmement répandus dans la nature. Cependant, sa recherche doit être toujours pratiquée méthodiquement et avec grand soin. Comme le fait très justement remarquer M. le Professeur Vincent, les variations notables dans le nombre de ces germes indiquent très nettement des possibilités de contamination par des eaux ou produits souillés de matières fécales. Cette variation peut servir de base ou d'instrument de mesure de l'importance de ces contaminations.

Je ferai remarquer aussi, au sujet de la recherche du bacille coli, qu'on doit apporter de l'attention à la production très notable d'indol par le germe isolé de l'échantillon d'eau. Au cours de nombreuses recherches, j'ai pu constater que les bacilles coli, venant de l'intestin de l'homme, donnent généralement une réaction très forte avec coloration violet-rouge foncée par le réactif nitrite-acide sulfurique. Les bacilles coli venant de l'intestin d'animaux herbivores (lapins, moutons, etc.) donnent au contraire généralement une coloration rose-orangé peu intense. On peut donc dire : à une augmentation notable du nombre de bacilles coli et à une réaction violet-rouge foncée par le réactif nitreux-sulfurique, correspond un danger sérieux de contamination des eaux par des bactéries venant de l'intestin de l'homme.



Cliché F. Daligault.

FIG. 9. — Coupe récente de la falaise. Abatis des carrières de Tancarville montrant la texture du filtre naturel.

On remarque les cassures et puits d'érosions verticaux et diaclases horizontales colmatées par l'argile à silex et le sable de décalcification. On voit de petits canaux aquifères horizontaux dans la zone des diaclases horizontales.

Pour atteindre les diaclases inférieures on s'aperçoit que le plus souvent les eaux doivent retraverser un banc compact assez épais pour assurer la filtration.

VII

VALEUR DU FILTRE CRAYEUX NATUREL

Recherche de ses points faibles

Les eaux d'alimentation du Havre peuvent être considérées comme provenant d' « exurgences », c'est-à-dire de « resurgences » filtrées de la craie. A ces eaux d' « exurgences » se mélangent, en période de fortes pluies persistantes, une faible quantité d'eau de quelques « résurgences » non filtrées.

Cette classification se justifie par les considérations suivantes : La texture des couches géologiques crayeuses du plateau de Caux, dans le bassin d'alimentation de nos sources, est assez compacte et caractérisée par l'absence d'énormes diaclases béantes. Les eaux tombées à la surface du sol ont à parcourir une épaisse couche de craie sénonienne et turonienne relativement peu fendillée. La craie sénonienne est recouverte sur de larges étendues par du limon des plateaux et de l'argile à silex. La plupart des parties de la craie érodée par les eaux et des diaclases, visibles sur une très forte étendue, soit de la Hève à Fécamp, soit de la Hève à Tancarville, sont fortement colmatées par cette argile (fig. 9). Si bien que les parties qui seraient dangereuses sont nettement bouchées par le terrain le moins perméable.

Quant à la partie crayeuse non recouverte d'argile à silex, partie qui a le mieux résisté à l'érosion des eaux, elle est peu ou pas fendillée. Dans cette partie, le calcaire plus dur, bien aggloméré, constitue dans la majeure étendue de sa masse un bon filtre. Si l'on pénètre en effet dans les marnières

turoniennes de la région, après un hiver pluvieux, vers le mois de juillet-août, période de l'arrivée de la crue dans la zone aquifère du Turonien de nos bassins d'alimentation, on voit que la masse crayeuse est, sur de très grandes étendues, humide, mouillée comme la paroi d'un filtre de terre de porcelaine poreuse, utilisé pour la stérilisation de l'eau.

L'eau s'écoule avec une lenteur extrême en gouttelettes ténues qui se rassemblent en gouttes qui tombent une à une. La vitesse de l'écoulement est sensiblement du même ordre que celle trouvée dans les appareils filtrants de porcelaine usités dans les laboratoires, ou dans les appareils filtrants des installations urbaines de purification d'eaux d'alimentation. En effet, d'après les travaux de M. Meurdra, dont l'exactitude se vérifie parfaitement par les jaugeages répétés du Service des Eaux de la Ville du Havre, les premières masses d'eau efficaces, dont l'action se fait sentir sur le débit des sources, mettent environ deux mois pour parcourir une épaisseur de 60 mètres, soit une vitesse de 0 m. 04 à l'heure. Or, les mesures que j'ai faites sur une bougie sans pression me donnent un écoulement avec une vitesse de 0 m. 02 à l'heure. Pour les filtres à sables submergés, la vitesse maximum ne doit pas dépasser 0 m. 10 à 0 m. 08. D'autre part, les expériences que j'ai effectuées en collaboration avec M. le Docteur Pottevin sur les filtres à sables non submergés, indiquent que la vitesse d'écoulement permettant une excellente filtration avec arrêt du *bacterium coli* et du bacille d'Eberth oscille entre 0 m. 019 à 0 m. 05 pour une épaisseur de filtre de 0 m. 30 seulement. M. Miquel a même établi que, pour ce dernier genre de filtre, qui se rapproche le plus du filtre naturel, la vitesse d'écoulement peut atteindre un mètre. Ce qui correspondrait seulement à une durée de 60 heures pour la traversée du filtre naturel de nos eaux de sources. Vitesse qui est loin d'être atteinte comme nous l'avons vu ci-dessus.

Les éléments d'appréciation rapportés dans les quelques lignes qui précèdent ne sont pas seulement des considérations théoriques et de simples vues de l'esprit. Ils sont confirmés par la teneur extrêmement faible en microbes de

nos eaux dans la majeure partie de nos analyses; ce qui indique la bonne qualité de la grosse masse de nos eaux.

Dans quel cas cette bonne qualité peut-elle être altérée ? C'est le point que nous allons établir maintenant, en recherchant dans quelles conditions et à quel moment les eaux dangereuses non filtrées peuvent se mélanger aux eaux normales et quelles sont les parties faibles de notre filtre naturel.

Les analyses exécutées, soit au Havre, soit à Paris, de 1887 à 1900, les premières observations faites au cours de l'épidémie de 1900, par M. le Docteur Pottevin ou par moi-même, ne fournissaient pas de renseignements très précis sur les variations de la composition de l'eau au point de vue teneur en microbes, et sur les causes de ces variations. J'entrepris alors, au cours des années 1901-1902 notamment, la recherche méthodique de ces variations après chaque pluie importante.

Mon premier soin fut d'abord de voir quelles étaient les pluies qui pouvaient provoquer un ruissellement assez important sur le sol et former des eaux sauvages en quantité suffisante pour pénétrer dans les parties faibles du filtre naturel et y apporter des matières souillées rencontrées à la surface du sol. Au moyen d'un pluviomètre très simple, composé d'un entonnoir et d'une éprouvette graduée de laboratoire, j'arrivais, en mesurant heure par heure la hauteur d'eau tombée, à établir très nettement que les pluies de 1 millimètre $1/2$ à l'heure produisent un ruissellement appréciable, même sur un terrain à pente extrêmement faible. Ce ruissellement prend une importance très caractérisée pour les pluies de 8 millimètres et au-dessus en 24 heures.

Ceci fait, en suivant les indications du pluviomètre, je me mis à suivre de 2 heures en 2 heures, les variations possibles de la composition microbienne que les pluies à ruissellement pouvaient produire sur nos eaux.

Après de nombreux essais, je me rendis compte que des variations sensibles se produisaient après les pluies de 8 millimètres sur les eaux à leur arrivée en ville, environ

18 à 24 heures après la pluie. Ces variations sont indiquées sur les graphiques n^{os} 7, 8 et 9, pour une période de 20 ans.

Comme les eaux de Saint-Laurent mettent environ 8 heures pour parcourir la distance qui sépare les captages des bornes-fontaines du Havre, on était amené à admettre que, sur quelques points, des eaux sales de ruissellement arrivaient presque immédiatement aux réseaux aquifères profonds.

Il restait donc à rechercher ces points.

Par temps de fortes pluies, en suivant, au moment des averses, surtout les chemins qui servent de drains aux eaux de ruissellement du plateau d'Aplemont et de Gainneville, je m'aperçus très rapidement que, dans quelques régions, des infiltrations d'eaux superficielles pouvaient se produire. Les zones les plus dangereuses à cause de leur voisinage immédiat avec les sources sont les suivantes :

Les eaux qui descendent des terres du voisinage du château d'Aplemont (terres désignées « terres de M. E. Legalais et de M. Lecomte d'Aplemont », dans la brochure de MM. les Professeurs Brouardel et Thoinot, n^o 7 de la partie Sud haute du plan n^o 12) descendent par trois chemins.

Le premier chemin part de l'angle Nord-Ouest du domaine d'Aplemont et conduit les eaux de ruissellement près de l'église, au voisinage de la source de « l'Eglise » et des « Grandes Sources » et finalement à l'égout du village. L'autre chemin (chemin des Fontaines du Câtillon, Ruelle aux Loups), s'amorce au milieu du domaine d'Aplemont et amène une masse d'eau importante en suivant le creux de la Ruelle aux Loups. Une autre partie des eaux descend par le vieux chemin qui montait aux Maisons Blanches, ou par la route de Gainneville (voir plan des sources n^o 12). Les eaux du vieux chemin et de la route de Gainneville, côté Est, se réunissent à l'entrée du hameau des Châtagniers, où elles semblaient arrêtées par le mur des premières maisons et avoir tendance à séjourner et à s'infiltrer dans le terrain de protection appartenant à la Ville du Havre. Dans ce terrain, se trouvait autrefois une petite habitation

avec un puits qui atteignait le réseau aquifère, ce puits a été comblé à la suite de l'enquête de MM. les Professeurs Thoinot et Brouardel.

Les eaux venant du plateau de Gainneville, plateau des fontaines du Câtillon, au-dessus de la gare, descendent par le chemin qui débouche devant la gare. Le chemin draine toutes les eaux de la région habitée au-dessus de la gare, à gauche de la route de Gainneville. Ces eaux passent dans un aqueduc sous la voie ferrée et se dirigent vers la rivière, en traversant le terrain de protection du « Câtillon », en amont de la source dans le bois qui borde le chemin qui descend de Gainneville.

De l'autre côté de la vallée, les eaux venant du hameau du Carreau descendent dans les fossés, côté Est, du chemin qui relie la commune à cette petite agglomération. Dans la partie du chemin où la déclivité s'accroît fortement, les eaux ont été déviées et rejetées dans une ancienne carrière à cailloux qui forme « bétoire » où s'infiltrèrent les eaux souillées de surface. Ce dispositif présente un danger assez sérieux pour la source des « Pruniers » qui se trouve immédiatement au-dessous.

À la suite de mes constatations, M. le Docteur Pottevin, Directeur du Bureau d'Hygiène, d'accord avec l'Administration municipale, avec M. Lefebvre, Ingénieur du Service des Eaux, et M. Lennier, géologue, décida d'entreprendre quelques expériences pour vérifier si les infiltrations, que l'on soupçonnait assez fortes sur certains points de ces chemins, étaient capables d'atteindre rapidement les sources voisines. L'Administration municipale de cette époque craignant d'apporter des perturbations dans les qualités physiques des eaux — perturbations qui auraient pu mécontenter la population — nos expériences avec les matières colorantes n'ont pu être tentées qu'avec de faibles quantités de fluorescéine. Ces expériences furent négatives. Bien que négatif, ce résultat a une certaine importance. Il indiquait que dans les régions suspectes n'existait aucune fissure large atteignant le réseau aquifère, fissure dans laquelle la matière colorante aurait pu s'engouffrer sans être retenue

par aucun obstacle. On décida alors d'utiliser la levure de bière.

Préalablement, j'avais recherché si le *saccharomyces cerevisiae* n'existait pas dans les eaux soumises à l'expérience. Seules, existaient dans les eaux, quelques levures absolument différentes de la levure de bière et très peu actives au point de vue de la production d'alcool. Ces nouvelles expériences furent plus probantes : la levure, jetée sur les chemins cités quelques lignes plus haut, fut retrouvée de 6 à 48 heures après l'épandage. Ceci indique que l'eau superficielle s'infiltrait sur quelques points, avec une vitesse assez grande, dans une partie du terrain peu serré incapable d'assurer une filtration suffisante, puisque les levures de dimensions assez grosses le traversent en quelques heures.

Je signalerai encore comme régions douteuses où l'infiltration rapide des eaux superficielles peut présenter quelques dangers pour nos sources : 1° la fin du petit vallon qui descend d'Etainhus et de Sainneville jusqu'au chemin n° 34 à la jonction de la petite route de Sainneville, un peu en amont du cimetière de Saint-Laurent. A cette jonction, le service vicinal a creusé un puits absorbant pour évacuer dans les couches géologiques, une partie des eaux du vallon qui sont arrêtées par le chemin n° 34. On n'a pas encore fait d'expérience sur ce point. Il est cependant à surveiller, car au cours de tournées récentes de recherches géologiques, en vue de ce travail, j'ai pu me rendre compte qu'on pratique encore l'épandage d'engrais humain dans les environs de Sainneville ; 2° la région entre Aplemont et l'Enfer, un peu au Sud-Est d'Aplemont. A cet endroit, les eaux qui descendent du Nord de Saint-Aubin, sont un peu arrêtées par le chemin vicinal n° 6, de Gainneville à Epretot, et paraissent s'infiltrer assez rapidement dans cette partie du vallonement ; 3° la partie haute de la vallée de Rogerville qui draine les eaux superficielles de la commune de Saint-Aubin et de ses environs ; 4° le haut de la vallée d'Oudalle, notamment aux fonds de Saint-Michel et dans la partie au-dessous de ces fonds jusqu'au bas du Hamelet et du Carouge.

Comme je ne puis parcourir ces parages qu'à mes

moments perdus, les dimanches et jours de fête ou les rares journées où j'ai quelques loisirs, la reconnaissance méthodique de tous les points éloignés du Havre est extrêmement longue. On n'a pu encore faire des expériences de contrôle d'infiltration rapide sur ces points. Il serait maintenant utile de les faire en employant de grosses quantités de fluorescéine. Dans les régions douteuses, un peu en amont des points suspects, on déposerait du colorant sur la ligne de circulation d'eau; au moment des pluies très violentes, on surveillerait les sources pour voir si le colorant est arrivé jusqu'à leur niveau. Car, dans ces points élevés, loin des sources, il est impossible de produire un ruissellement artificiel, comme on avait pu le réaliser au voisinage immédiat des sources, où l'on peut trouver de l'eau abondamment et la transporter en gros tonneaux sur les chemins.

Un point suspect, intéressant par sa position les deux séries de sources Saint-Laurent et Radicatel, est le « bétoire » de Saint-Romain. Ce « bétoire » attira particulièrement notre attention, au cours de nos recherches sur les contaminations possibles des eaux de Saint-Laurent et au cours de l'enquête pour le captage de la source « Broui-Cérès » (Radicatel). La commune de Saint-Romain utilise, en effet, comme moyen d'évacuation de la plus grande quantité de ses eaux usées, un « bétoire », constitué par le puits et les galeries d'anciennes marnières creusées dans la craie turonienne. Ce « bétoire » se trouve situé à peu près à égale distance des deux groupes de sources dans la partie la plus élevée des couches géologiques d'où ces sources s'écoulent. D'après l'inclinaison des couches, les eaux usées évacuées dans le « bétoire » pouvaient suivre plusieurs directions : soit vers Radicatel, soit vers Saint-Laurent et la vallée de Saint-Laurent, soit vers Lillebonne, soit vers les vallées d'Oudalle ou Rogerville, soit verticalement si les couches marneuses étaient suffisamment entamées par l'exploitation de la carrière. Pour savoir si les eaux, tombées dans ce « bétoire », pouvaient atteindre nos sources, nous avons procédé à des expériences répétées, avec jet de fortes quantités de fluorescéine ou de levures de bière. Toutes ces expériences furent négatives : rien d'anor-

mal ne fut observé dans les sources des régions citées ci-dessus, à la suite de nombreux prélèvements exécutés par les employés du Service des Eaux. Ces expériences peuvent, dans une très large mesure, laisser supposer que les eaux du « bétoire » s'infiltrèrent soit verticalement ou bien descendent vers la faille de Lillebonne où il était impossible de les voir, les couches turoniennes étant en ce point au-dessous du niveau du sol de la vallée.

Bien que ces expériences soient rassurantes, il n'est pas moins utile de faire remarquer que, dans l'intérêt de ceux qui utilisent, ou pourront utiliser les eaux profondes de la région que nous étudions, il sera nécessaire dans le programme des nouveaux travaux de protection des sources de la Ville du Havre, de prévoir une amélioration du système d'évacuation des eaux d'égout de Saint-Romain, défectueux au point de vue de l'hygiène du sous-sol. Cette amélioration consisterait soit dans la construction d'un réseau d'égouts avec évacuation des eaux usées en conduites étanches vers la vallée de la Seine, soit dans l'épuration des eaux usées avant leur déversement dans le « bétoire ». La Ville du Havre, intéressée indirectement à ces améliorations, ne pourrait se refuser à aider de ses conseils techniques la Ville de Saint-Romain pour la bonne exécution de ces travaux d'hygiène générale.

Une dernière région suspecte dans laquelle la valeur du filtre naturel de nos eaux peut paraître douteuse, et sur laquelle je désire, en terminant ce chapitre, attirer encore l'attention, est la vallée de Tancarville qui couvre une grande étendue du bassin d'alimentation de la source de « Broui-Cérès » (Radicatel).

Cette vallée est située au Nord-Ouest de la source, à environ un kilomètre de son émergence. Si l'on jette un coup d'œil sur le plan en relief du bassin d'alimentation et sur la coupe géologique Havre-Lillebonne, on voit que cette vallée, en forme de patte d'oie, a été formée par l'érosion profonde des couches de la craie sénonienne et turonienne. Ce point faible n'avait pas manqué de frapper l'attention de M. le Professeur Munier-Chalmas, qui le signale dans

son rapport d'enquête pour le captage de la source « Broui-Cérès ». Mais, étant donné que les flancs du vallon et le vallon lui-même ne sont pas habités, ce géologue concluait au peu de danger de ce point faible, si on empêchait d'y établir des puisards et des fosses d'aisance non étanches, atteignant la craie. Malgré ce rapport assez optimiste, le Service des Eaux et le Bureau d'Hygiène crurent utile de faire une expérience de recherche de contamination avec jet de fluorescéine, qui eut lieu à la « Fontaine du Four des Veaux », point où le réseau aquifère turonien était à jour dans la vallée, à un niveau légèrement supérieur à celui de la source de « Broui-Cérès ». Cette expérience donna un résultat négatif. Une expérience à la levure de bière au même point, donna, elle aussi, un résultat négatif pour cette région basse de la vallée et pour le lit du rû qui la parcourt.

Depuis ces expériences, à la suite de nombreuses explorations, j'ai pu me rendre compte que la partie dangereuse de cette vallée ne doit pas être la partie basse, mais certains points de la partie haute et de la partie moyenne. Les eaux, qui descendent des terres et des agglomérations des Trois-Pierres et de Mélamare, sont arrêtées par la route du Havre à Lillebonne, au petit pont de la Forge de Mélamare, où elles rencontrent un puits d'absorption artificiel, creusé en amont du remblai de la route. Les eaux qui ont réussi à traverser le pont par temps de crue, celles qui viennent des champs et des villages de La Remuée, La Cerlangue et Saint-Nicolas-de-la-Taille, semblent se perdre en partie dans la région moyenne de la vallée, à la réunion des trois petits vallons formant les doigts de la patte d'oie.

Après avoir examiné les causes de souillure de nos eaux au cours de la traversée du filtre naturel, il reste à voir quelles peuvent être les souillures en cours de distribution.

Dans le trajet des sources aux réservoirs installés en ville, les graves souillures ne sont pas à redouter. L'eau circule, en effet, sous pression dans des canalisations de fonte étanches, où toute pénétration d'eaux souillées de l'extérieur vers l'intérieur est presque impossible. Dans les réservoirs, l'eau est aussi protégée convenablement contre les eaux

extérieures de ruissellement ou autres et contre les poussières.

Des conduites ou des réservoirs au robinet de puisage dans les maisons, nous signalerons que l'eau risque souvent d'être souillée dans les réservoirs de jauge, installations absolument défectueuses, établies souvent dans les greniers, fréquemment sans couvercle et exposées à toutes les poussières et à la chaleur de l'été. Le Service des Eaux et le Bureau d'Hygiène combattent ces installations le plus possible. Le nouveau règlement sanitaire prévoyait même la suppression complète de ces réservoirs anti-hygiéniques et leur remplacement par le compteur fermé. Malheureusement, le Conseil d'Etat a fait passer le droit du propriétaire avant les prescriptions utiles de l'hygiéniste et il a maintenu le droit de posséder le réservoir de jauge dans les vieilles maisons, là où il aurait été le plus utile de les supprimer.

Bien que les bornes-fontaines soient des installations appelées à disparaître dans les organisations des distributions urbaines d'eau, nous signalerons aussi un léger détail de construction défectueux dans le dispositif des anciennes bornes-fontaines, qui sont les plus nombreuses. A la base, devant le tuyau de déversement, ne se trouve pas la petite grille support sur laquelle doit reposer le seau au moment du remplissage. Il résulte de ce défaut de support que le seau plonge dans le ruisseau par sa base. Sa paroi et son contenu peuvent de ce fait recevoir plus facilement des éclaboussures d'eau sale du ruisseau, et on sait ce que contient trop souvent, hélas ! cette eau du ruisseau au Havre.

Le Service des Eaux, soucieux, au plus haut point, nous le savons, de la perfection de ses installations, n'ignore pas ce détail, il fait déjà des efforts pour apporter remède à cette mauvaise installation très ancienne, car ce dispositif a déjà disparu dans les nouvelles bornes-fontaines. Et il sera assez facile de le modifier dans les anciennes bornes.

VIII

MESURES DE PROTECTION DES SOURCES ET DES EAUX EN COURS DE DISTRIBUTION

A la suite des épidémies sévères de fièvre typhoïde de 1887-1888 et de l'enquête de MM. les Professeurs Brouardel et Thoinot, la Municipalité du Havre décida de créer des terrains de protection autour des sources de Saint-Laurent. Au cours des années 1892 et 1893, la Ville du Havre acheta les terrains cultivés qui se trouvaient aux environs immédiats des sources. Une grande partie de ces terrains fut boisée ensuite. Un égout fut construit dans la rue principale du village de Saint-Laurent, au voisinage des « Grandes Sources ». A cette même époque, le Bureau d'Hygiène fit dresser par M. Muret, professeur à l'Institut Agronomique, le plan en relief et géologique de l'arrondissement du Havre.

En 1896, fut créé le Laboratoire de Bactériologie qui devait assurer la surveillance des eaux du Havre.

A partir de 1901, commence vraiment la surveillance régulière et continue des eaux potables du Havre. On étudie sur place le régime des eaux de ruissellement dans le bassin d'alimentation des sources. On recherche les points faibles du filtre naturel. Des travaux pour faciliter l'écoulement des eaux de ruissellement sont exécutés aux abords des terrains de protection sur les points dangereux que nous avons pu signaler aux environs immédiats des sources. Le Service des Eaux fait notamment établir un caniveau protecteur étanche en ciment, près de l'église de Saint-Laurent, pour évacuer les eaux sauvages qui descendent du plateau d'Aplemont et des jardins voisins de l'église. On construit

une poterie sur la route de Gainneville, pour évacuer les eaux qui descendent de la Ruelle aux Loups et des Maisons Blanches et qui, arrêtées par les murs des premières maisons du hameau des Châtaigniers, pouvaient s'infiltrer au voisinage de l'ancien puits situé dans le terrain de protection voisin, point signalé comme dangereux au moment de l'enquête du Professeur Brouardel. On établit encore un caniveau étanche dans le voisinage du terrain de protection du « Câtillon » pour drainer rapidement les eaux qui viennent de la région habitée au-dessus de la Gare. Tous ces ouvrages sont marqués sur le plan des environs des sources par le chiffre 3.

Au moment de la mise en service des conduites neuves ou de grosses réparations, on procède à un lavage énergique de la partie neuve ou réparée, avec de l'eau chargée de permanganate de potasse. Lorsqu'en temps d'épidémie on a voulu prendre toutes précautions utiles, les grands réservoirs ont été brossés et lavés avec une solution de permanganate de potasse. A ce sujet, nous ferons remarquer qu'il n'y a pas lieu de multiplier à l'excès ces nettoyages des réservoirs. Cette opération nuit à la solidité des enduits intérieurs des réservoirs. De plus, elle nécessite beaucoup de précautions. Elle doit être faite avec un matériel neuf parfaitement désinfecté, et rien que le fait d'introduire des hommes dans un réservoir d'eau potable, implique une surveillance extrêmement sévère par des personnes compétentes du Service des Eaux ou du Service d'Hygiène, pour éviter toute imprudence en cours de nettoyage.

Pendant les années 1903-1904, M. le Docteur Pottevin, Directeur du Bureau d'Hygiène, fit une tentative pour établir une surveillance médicale dans le bassin d'alimentation des sources. Il se rendit auprès des médecins d'Harfleur, Montivilliers, Saint-Romain, Bolbec, et les pria de vouloir bien lui signaler les cas de fièvre typhoïde qu'ils pourraient connaître dans la commune de Saint-Laurent ou dans les communes voisines. Le gardien des sources de Saint-Laurent reçut l'ordre de signaler au Directeur du Service des Eaux tous les cas de maladies dont il pourrait

entendre parler dans sa commune, notamment les cas de fièvre typhoïde. Des désinfectants furent mis en dépôt chez le gardien des sources. On ne peut que féliciter M. Lefebvre, Directeur du Service des Eaux, du zèle qu'il a apporté à la recherche des cas de fièvre typhoïde dans la zone dangereuse pour nos sources. Grâce à la vigilance du Directeur du Service des Eaux et du gardien des sources, nous avons pu prendre toutes les mesures de désinfections nécessaires pour trois cas de fièvre typhoïde qui s'étaient déclarés à Saint-Laurent, à des époques différentes, au voisinage immédiat des sources, l'un près de l'église, l'autre à la gare, juste au-dessus des sources du « Câtillon », l'autre sur la route de Gainneville, au « Donjon », hameau des Châtaigniers.

Malheureusement on ne peut constater un aussi bon résultat du côté de la surveillance médicale. De 1904 à 1910, presque aucun cas ne fut signalé par le corps médical de la région des sources, si bien que M. le Docteur Loir, Directeur du Bureau d'Hygiène, adressa aux médecins des environs du Havre, région des sources, la lettre suivante :

« Mon Cher Confrère,

« Chargé de surveiller les environs des sources de l'eau
« d'alimentation de la ville du Havre et leur pollution possible par les germes de maladie, je viens vous demander
« de bien vouloir m'aider dans ma tâche. Pour cela, je vous
« prie d'avertir le Bureau d'Hygiène du Havre dès qu'un cas
« suspect de maladie infectieuse (fièvre typhoïde en particulier) survient dans votre clientèle.

« En même temps, je vous demande l'autorisation de me
« présenter à votre client pour diriger les opérations de
« désinfection au cours de la maladie. Cet avertissement
« que vous voudrez bien m'envoyer, n'est pas une déclaration, il sera absolument secret; vous le ferez dès qu'un cas
« suspect surviendra, avant même que le diagnostic soit
« bien établi, c'est-à-dire avant le moment de la déclaration
« obligatoire de la maladie à faire alors à la municipalité
« intéressée et à la sous-préfecture.

« Comme la municipalité du Havre désire vous indemniser pour le service que vous rendrez ainsi et pour le « dérangement qui vous sera occasionné, nous espérons que « vous voudrez bien accepter, pendant le cours de cette « année, des honoraires de dix francs par cas signalé. »

Cette lettre n'a pas paru avoir, elle non plus, grand effet pendant la période 1910 à 1920. Espérons que les mauvais résultats constatés sont dus aux difficultés de l'état de guerre, Mais, nous n'osons trop y compter. Aussi, je conseillerais d'adopter dans les communes du bassin d'alimentation des sources de Saint-Laurent et de Radicatel, une vingtaine environ, la méthode qui nous a donné de bons résultats à Saint-Laurent. Dans chaque commune, le garde champêtre, sous le contrôle du secrétaire de la mairie ou de toute autre personne, serait chargé de signaler au Bureau d'Hygiène les cas de maladies douteuses et le nom du médecin traitant. Aussitôt, le service du Havre chargé de la surveillance des eaux se mettrait en relation avec le médecin du malade signalé et prendrait de concert avec lui toutes précautions utiles. En compensation du service rendu, le service d'avertissement de chaque commune recevrait une redevance annuelle fixe, plus une prime accordée à ce service ainsi qu'au médecin en cas de déclaration de maladies dangereuses pour nos eaux d'alimentation. Les quelques dépenses que la Ville du Havre pourrait engager de ce fait, seraient largement compensées par les services que l'on rendrait ainsi aux habitants du Havre, en évitant à quelques-uns la mort et à d'autres de longs jours de maladie et de souffrances.

Depuis 1901, l'eau est analysée au point de vue chimique et bactériologique au moins une fois par semaine et après chaque pluie violente pouvant produire du ruissellement, ou chaque fois que l'état sanitaire au point de vue fièvre typhoïde est douteux. Si une variation dans le nombre des germes se produit, on vérifie l'eau de chacune des sources séparément et les sources les moins protégées « de l'Eglise » et des « Pruniers » sont mises en décharge, si l'analyse leur a été défavorable. Les variations dans le nombre des germes

ont été rapportées sur les graphiques n^{os} 7, 8 et 9, sur lesquels sont rapportés aussi les cas de fièvre typhoïde.

A partir de 1910, lorsque l'eau peut devenir suspecte, soit à la suite de pluies torrentielles ou autre cause accidentelle, l'Administration municipale fait publier un avis par le Bureau d'Hygiène, invitant la population à faire bouillir l'eau servant à l'alimentation.

Les mesures que nous venons d'indiquer, bien qu'elles réalisent un effort sérieux pour l'amélioration de la distribution d'eau au Havre, ne sont pas encore suffisantes. Des mesures nouvelles sont encore à prendre. La recherche des points dangereux doit être continuée sur le plateau d'alimentation de nos sources, notamment dans le haut de la vallée de Saint-Laurent, région d'Epretot, dans la vallée de Roger-ville, vers Saint-Aubin, dans la vallée d'Oudalle, vers les fonds de Saint-Michel et la vallée de Saint-Vigor, aux environs de Saint-Vincent-Cramesnil. Il faudra rechercher avec grand soin les pertes d'eaux sauvages dans le vallon de Tancarville, dans la région de jonction des vallons de Saint-Nicolas-de-la-Taille et la Cerlangue, perte qui doit en période de pluies intenses, causer le trouble des sources de Radicatel.

La Ville du Havre devra veiller avec grand soin à ce que les terres en pentes boisées, qui environnent notamment les sources de Saint-Laurent, et qui ne lui appartiennent pas, ne soient pas déboisées. Elle devrait acquérir les terrains en nature de jardins potagers situés auprès et en amont de l'église de Saint-Laurent et sur les côtés de la route de Gainneville. Car sur ces terres on peut pratiquer des épandages de fumier humain dangereux pour les sources très voisines : sources de « l'Eglise », « Grandes Sources » et « Câtillon ».

Il faudra hâter la construction du caniveau de protection prévu sur le chemin du Carreau pour la protection de la source « des Pruniers ». Comme les eaux sauvages, venant des régions habitées, sont toujours dangereuses en pays calcaire pour les sources, il y aurait lieu de compléter le réseau d'égout dans le village même de Saint-Laurent, surtout dans la partie qui se trouve couverte de petites maisons,

au hameau des Châtaigniers, à droite et à gauche de la route de Gainneville et jusqu'au haut du plateau, le long du chemin qui monte en face de la gare. Avant la guerre, le Service des Eaux, sur mes conseils, avait pris contact avec M. l'Inspecteur départemental d'Hygiène, pour voir dans quelles conditions la commune de Saint-Laurent pourrait mettre à l'étude et exécuter un projet d'assainissement avec l'aide de la Ville du Havre et les subventions de l'Etat (Pari mutuel). Cette tentative est restée sans résultat. Il y aurait lieu de reprendre ce projet d'urgence, dans l'intérêt immédiat des deux communes. Suivant les résultats obtenus pour l'assainissement de Saint-Laurent et d'après les résultats de l'enquête sur le régime des eaux de ruissellement dans le vallon de Tancarville, il est très vraisemblable que l'on aura à examiner aussi le projet d'évacuation des eaux usées des communes de La Remuée, Les Trois-Pierres, Mélamare, La Cerlangue, Saint-Nicolas-de-la-Taille. Cette œuvre sera celle de ceux qui auront à étudier les projets de captage des nouvelles sources que la Ville du Havre désire acquérir aux environs de Radicatel.

Parmi les travaux importants signalés pour améliorer les sources de Saint-Laurent, M. le Professeur Munier-Chalmas conseille la réfection des captages de ces prises d'eau.

Cette réfection paraît nécessaire dans une large mesure pour les sources peu importantes des « Pruniers » faciles à mettre en décharge, sans nuire à l'alimentation du service. Les bassins de réception de ces sources placés dans le thalweg même de l'ancienne rivière sont les plus exposés aux contaminations par des eaux usées venant des habitations voisines des terrains de protection, forcément limités dans cette partie centrale du village.

Pour les « Grandes Sources », les mêmes considérations sont applicables. Il y a lieu en effet de tenir compte des observations de M. le Professeur Munier-Chalmas, au sujet du danger de contamination possible par les water-closets des wagons circulant sur la ligne de Paris-Le Havre qui passe sur le remblai juste au-dessus et au Sud. Il n'est pas douteux que le prolongement probable des captages sous la ligne

du chemin de fer fera disparaître ce danger très peu redoutable. Nous tenons à faire remarquer que cette contamination est plutôt théorique que réelle. Car, les chances de chutes répétées de matières dangereuses sont très faibles. Les quantités de ces matières sont très peu importantes, de même que les quantités d'eau de pluie ou de ruissellement qui pourraient les entraîner en profondeur sont très faibles. Et de plus le sol de la voie ferrée est toujours fortement imprégné de produits créosotés venant des traverses en bois du chemin de fer, substances capables de jouer un rôle antiseptique sur les produits souillés et dangereux tombés sur la voie.

Pour la source importante du « Câtillon », le travail de construction de longues galeries de captages profonds présente des complications tout à fait particulières qui seront exactement celles qui se sont naturellement produites au cours du captage de la source de « Broni-Cérès » (Radicatel), exécuté par M. Lefebvre, ingénieur du Service des Eaux. Le géologue se basant sur l'inclinaison des couches géologiques, et peut-être encore légèrement influencé par l'ancienne théorie des nappes souterraines en pays calcaire, avait indiqué la direction de galeries capables de prendre l'eau dans la profondeur des couches, à plusieurs centaines de mètres de la source. Il n'en fut pas malheureusement ainsi au cours des travaux exécutés suivant les indications données. Arrivé au point fixé par le géologue, on n'eut pas une goutte d'eau. On ne retrouva le filon aquifère qu'à la suite de travaux difficiles, par le creusement à la poudre de petites galeries transversales, dont une finit par recouper le canal naturel souterrain qui dût être fermé par un barrage pour éviter des pertes d'eau au voisinage de son ancienne émergence. Le même mécompte arriva à M. Dubosc, au cours du captage des sources des « Pisseuses », au Tilleul, sources situées dans le même réseau géologique des falaises de la Manche.

Instruits par ces faits, qui confirment les nombreux travaux qui démontrent que les eaux profondes de la craie ne circulent que dans des canaux souterrains irréguliers et

tortueux, nous pouvons dire que le captage des filons aquifères de la craie de notre région ne peut se faire pratiquement que des deux façons suivantes : ou bien on doit agrandir progressivement le tunnel du canal naturel en suivant pas à pas la direction de l'eau depuis son émergence, ou bien on doit pratiquer immédiatement au-dessus de la sortie du canal naturel une galerie qui suivra ce canal par des sondages extrêmement rapprochés. Si cette méthode, indiquée par la pratique, est d'une facilité relative pour des sources non encore en service, dont les eaux ne sont pas encore utilisées pour l'alimentation et peuvent supporter des souillures au cours du travail, il n'en est pas de même pour des sources importantes en service, et dont la mise en décharge amènerait de graves perturbations dans une organisation d'hygiène urbaine en plein fonctionnement. Il est impossible, en effet, de se servir pour l'alimentation, pendant la période du captage, d'eaux dans lesquelles des ouvriers barboteraient pour ainsi dire continuellement. L'utilisation de ces eaux, au cours du captage, ne pourrait donc se faire qu'après une stérilisation complète, par le chlore par exemple. On est dès lors amené à considérer comme première partie des travaux de réfection des captages, l'installation d'appareils de stérilisation. On en vient donc à se demander si cette installation d'appareils de stérilisation jointe à quelques travaux d'assainissement et de protection à ciel ouvert ne serait pas l'amélioration la meilleure à apporter à l'installation actuelle des captages. On ne sait pas si la dépense de construction de tunnels de captage très longs, correspondra bien aux avantages qu'on en retirerait. On ne doit pas oublier qu'il faudra peut-être aller très loin pour dépasser les parties de vallons où quelques rares diaclases peuvent être insuffisamment colmatées, et qu'on sera dans l'incertitude complète pour fixer le point exact, où devront arriver les galeries étanches pour dépasser les points dangereux, invisibles de l'extérieur.

Si la Ville du Havre s'arrêtait à cette solution de l'installation d'appareils de stérilisation par le chlore, je ferai remarquer que ces appareils pourraient très bien ne fonc-

tionner que lorsque les eaux seraient suspectes après de fortes pluies. Car, à mon avis, il est peut-être utile de laisser les organismes se vacciner naturellement par le passage de germes pathogènes très atténués, que peuvent contenir les eaux lorsque leur qualité est bonne.

INFLUENCE DES EAUX POTABLES SUR L'ENDÉMIE ET LES ÉPIDÉMIES TYPHIQUES

L'influence de nos eaux sur l'endémie et les épidémies typhiques ne peut avoir de relation qu'avec : 1° la nature du filtre et le mode de circulation de l'eau dans ce filtre; 2° avec le plus ou moins grand nombre de germes typhiques existant sur la surface supérieure de ce filtre, c'est-à-dire sur le plateau d'alimentation, et avec la facilité de développement du bacille typhique dans le sol et dans l'eau.

Dans le second chapitre, nous avons examiné la nature géologique du sol, nous avons vu que nos eaux d'alimentation proviennent de la craie sénonienne et turonienne. La nature crayeuse du filtre présente les inconvénients, connus surtout depuis les travaux de M. Martel, et dûs à la présence de fissures dans presque toutes les roches calcaires. Qui dit fissure dit forcément point faible où un germe microbien dangereux peut trouver passage. Nous ferons remarquer que dans la région du Havre, dans les parties éloignées des falaises où la poussée au vide et l'érosion de la mer sont peu sensibles, la fissuration est très faible et le risque de pénétration est limité au minimum à cause du colmatage des fissures par l'argile de décalcification. On peut certainement affirmer que cette partie du Pays de Caux est une des régions de France où la craie turonienne est le moins fendillée. A ce sujet, il est bon d'ajouter que les eaux du Havre ne méritent pas la mauvaise place qu'on leur donne dans toutes les publications où l'on parle des dangers des eaux des « résurgences » de la craie. Je dirai de plus que je ne

partage pas tout à fait l'opinion de M. le Professeur Munier-Chalmas sur la faible valeur du filtre crayeux des eaux de Saint-Laurent, qu'il considère comme très fendillé et bien moins bon que celui des sources de Radicatel. Pour cette raison même, M. Munier-Chalmas demandait à ce que la Ville du Havre s'engageât à ne pas mélanger ces sources à celles de Radicatel. Je serai d'accord avec ce savant géologue sur le danger des matières usées venant des maisons d'habitation construites au voisinage des sources de Saint-Laurent, dans une partie du flanc de la falaise où la résistance de la roche calcaire est diminuée par les érosions et la poussée au vide. Mais d'accord avec M. le Docteur Gibert et les hygiénistes havrais, je crois qu'il n'existe pas sur le plateau d'alimentation des « exurgences » de Saint-Laurent de grosses crévasses ou fissures par où de grosses masses d'eaux sauvages impures peuvent atteindre facilement le réseau des canaux aquifères profonds. Si l'on jette un coup d'œil sur les plans du bassin d'alimentation de Saint-Laurent, et sur celui de Radicatel, on voit que ce dernier est beaucoup plus érodé profondément, ce qui indique une solidité moins grande de la roche. Il est très probable que dans la profonde vallée de Tancarville à Mélamare, il existe quelques fissures importantes, amenant des masses d'eau notables, capables de faire troubler les eaux de Radicatel assez fortement en temps d'orage. Pour moi, le plateau-filtre de Radicatel serait inférieur à celui de Saint-Laurent. C'est pourquoi, les nécessités du Service des Eaux l'exigeant, le mélange se fait depuis la mise en marche du nouveau service, sans que les eaux de Saint-Laurent aient altéré celles de Radicatel, comme le redoutait M. Munier-Chalmas.

Après l'examen de la nature du filtre, nous avons étudié le régime des eaux et le débit. Les variations dans la composition chimique sont à peu près insensibles et varient très peu avec le débit. D'après les analyses bactériologiques, rapportées soit dans les tableaux ou graphiques de ce travail, le nombre de microbes ne paraît pas augmenter en période de grand débit ni diminuer d'une façon continue en période d'étiage. L'endémie typhique ne paraît pas diffé-

rente pendant les années où les canaux aquifères ont un bas débit de celles où ils ont un grand débit. Les épidémies de fièvre typhoïde se sont aussi bien produites dans les années de haut débit (épidémie de 1887), de débit moyen (épidémie de 1894), assez bas débit (épidémie de 1888), très bas débit (épidémie de 1900).

Le seul indice de relation que l'on pourrait trouver entre le débit et les épidémies de fièvre typhoïde est le suivant : la courbe d'augmentation du nombre de cas est exactement la même pour toutes les épidémies. Début de l'épidémie vers la fin avril commencement de mai, ascension dans les mois suivants, avec maximum dans la période août-septembre. Or, si nous comparons cette courbe d'ascension des cas à l'allure de la courbe moyenne des débits, graphique n° 5, nous remarquons une concordance très marquée : les eaux d'automne-hiver tombées sur le plateau d'alimentation ont, elles aussi, une action marquée sur le débit dès le mois d'avril, avec maximum vers août-septembre.

On doit de même attirer l'attention sur le fait suivant : ces courtes ascensionnelles des cas de fièvre typhoïde en temps d'épidémie et de crue du débit, coïncident aussi, comme on peut le voir d'après le graphique des températures n° 6, avec la courbe des températures de l'eau aux sources, aux bornes-fontaines et de l'air.

Il nous reste maintenant à examiner l'influence de la présence des germes pathogènes, notamment de germes typhiques, et à voir par quel mécanisme ils pourraient être entraînés dans la profondeur du filtre de craie.

La zone d'alimentation de nos canaux aquifères souterrains est une région habitée, sur laquelle vivent environ 12.000 personnes, soit en petites agglomérations, villages ou hameaux, soit dans des fermes isolées. Il n'est donc pas exagéré de dire que, sur une étendue de terrain d'au moins 80 kilomètres carrés, il y a sûrement des points où l'on rencontre à la surface du sol ou à une faible profondeur des germes typhiques provenant de malades ou de porteurs sains de bacilles d'Eberth. Mais, à ces germes peuvent

encore s'ajouter et ont pu surtout s'ajouter à certaines époques (1886 à 1889) assez éloignées de la période actuelle, des germes typhiques apportés par les matières fécales venant du Havre ou des agglomérations voisines. Comme nous le verrons tout à l'heure, l'épandage intense de ces matières utilisées pour la fumure des terres fut, pendant quelques années, pratiqué au voisinage immédiat des prises d'eau de Saint-Laurent-de-Brèvedent. J'ai cherché à établir s'il existait une relation entre les périodes à épandage intense et celles où la mortalité typhique était élevée. J'ai dressé le tableau de comparaison pour quatre périodes, déterminées d'après l'état de protection des sources, la pratique de l'épandage sur le plateau d'alimentation des prises d'eau de Saint-Laurent et l'état de surveillance de la pureté des eaux. Le tableau montre que, dans les neuf années qui ont suivi l'épandage intense, la mortalité par fièvre typhoïde a été énorme. La période qui correspond à un épandage extrêmement faible et au plus grand nombre de précautions prises pour protéger les sources, coïncide avec le meilleur état sanitaire.

Pour rapporter les faits avec toute impartialité, il y a lieu de signaler que la diminution de la mortalité typhique se manifeste aussi dans d'autres régions. Par exemple, pour la ville de Paris, la période 1919-1921 présente aussi une mortalité extrêmement faible. Il est vrai que, depuis 20 ans, la ville de Paris a pris des mesures de surveillance et de protection de ses captages d'eau dans la craie encore plus importantes que celles prises par la ville du Havre. Les mêmes causes ont-elles eues les mêmes effets ? ou bien la virulence et le mode de développement et de propagation du bacille d'Eberth subissent-ils des variations dans l'espace et dans le temps ? L'avenir nous l'apprendra par des observations ou des découvertes nouvelles.

Comment les germes typhiques, répandus à la surface du sol du plateau d'alimentation ou incorporés à une faible profondeur des terres cultivées recevant de l'engrais humain, peuvent-ils atteindre les eaux profondes ? Tel est le dernier élément à examiner. Nous arrivons au point le plus délicat

Périodes	Années	Mortalité par fièvre typhoïde pour dix mille habitants.	Protection et surveillance régulière des eaux des sources.	Epannage dans le voisinage des sources de matières fécales venant du Havre.
1 ^{re} Période	1875	6.4	Néant.	Nul ou extrêmement faible. <i>Intense.</i>
	1876	8.2		
	1877	8.3		
	1878	7.4		
	1879	5.5		
	1880	7.6		
	1881	4.4		
	1882	6.0		
	1883	7.1		
	1884	4.8		
	1885	7.1		
	1886	7.5		
2 ^{me} Période	1887	35.2	Néant. Début d'installation des terrains de protection.	<i>Intense.</i> Faible.
	1888	24.3		
	1889	7.8		
	1890	9.8		
	1891	8.1		
	1892	15.0		
	1893	10.4		
	1894	24.1		
	1895	12.0		
3 ^{me} Période	1896	3.7	Terrains de protection. Début de surveillance intermittente de la qualité des eaux.	Nul ou extrêmement faible.
	1897	3.3		
	1898	3.6		
	1899	7.8		
	1900	25.2		
	1901	5.6		
	1902	3.2		
4 ^{me} Période	1903	2.5	Surveillance continue de la qualité des eaux. Terrains de protection. Début de surveillance médicale aux environs des sources. Travaux de protection hors des terrains de protection. Mise en décharge des sources reconnues suspectes. Avertissement à la population en cas de souillures des eaux.	Nul ou extrêmement faible.
	1904	3.0		
	1905	3.7		
	1906	4.2		
	1907	2.8		
	1908	3.0		
	1909	3.5		
	1910	2.9		
	1911	2.3		
	1912	2.4		
	1913	2.7		
	1914	6.1		
	1915	6.5		
	1916	1.8		
	1917	1.5		
	1918	1.3		
	1919	1.0		
	1920	0.8		

de la discussion qui a divisé les hygiénistes parisiens et havrais. Etudions donc les deux théories en présence :

M. le Professeur Brouardel prend pour base essentielle 1° les expériences de Pasteur et Joubert qui établissent « que
« les eaux prises aux sources mêmes qui sortent de l'intérieur
« de la terre, que ni les poussières de l'atmosphère ni celles
« de la surface du sol où les eaux circulent à découvert,
« n'ont encore souillées, ne renferment pas traces de germes
« de bactéries »; 2° le fait que dans des tunnels profonds de captage d'eau dans la craie de la même région (source de Sanvic), M. le Professeur Thoinot avait découvert diverses bactéries, dont quelques-unes étaient mobiles et présentaient quelques caractères de ressemblance avec le bacille d'Eberth. Partant de ce principe, de ce fait et de la présence de bacilles typhiques dans les matières fécales épandues au voisinage des sources, M. le Professeur Brouardel admettait que les germes pathogènes avaient traversé le filtre et il disait : « pour Saint-Laurent la durée de la filtration du
« plateau à la nappe peut être fixée à six ou sept mois.
« (C. Lennier). Une apparition rapide de la fièvre typhoïde
« après l'épandage dans les mois terminant 1886 et 1887 ou
« commençant 1887 et 1888, eût donc été tout à fait contradictoire avec la genèse que nous admettons ici. L'appari-
« tion aux mois de mai 1887-1888 cadre au contraire fort
« bien avec cette idée étiologique : les pluies commencent
« en octobre-novembre à entraîner les matières pathogènes
« et six à sept mois après le début de ces pluies, l'épidémie
« apparaît : c'est absolument net. »

M. le Docteur Gibert opposait à cette théorie qu'au cours de l'enquête de 1887-1888 et à la suite d'autres épidémies, aucune analyse n'avait jamais révélé la présence du bacille d'Eberth. Il opposait encore la pureté de nos eaux au point de vue de leur très faible teneur en germes, et l'absence de grandes fissures dans le filtre naturel du plateau d'Aplemont. Pour lui, l'épidémie était due uniquement au mauvais état du sous-sol de la ville, souillé par l'enfouissement d'eaux usées dans des bêttoires, au mauvais état du système d'égout très incomplet, au système défectueux de vidanges. Tous ces

derniers éléments étaient d'ailleurs considérés par M. le Professeur Brouardel lui-même, comme causes aggravant l'épidémie d'origine hydrique.

Il y a lieu de rechercher quels sont les points bien établis sans discussion possible dans chacune des deux théories.

La question de souillure du sous-sol, des égouts et du système déplorable des vidanges au Havre, ne doit pas nous retenir, car sur ce point tous les hygiénistes qui se sont occupés de la question sont d'accord avec M. le Docteur Gibert, et l'on doit constater que, malgré les efforts de plusieurs Administrations municipales, la question de l'assainissement du Havre n'est pas encore résolue d'une façon satisfaisante à cause des nombreuses difficultés résultant surtout de la situation topographique de cette ville.

Mais, par contre, il y a lieu de discuter plus longuement la théorie du passage des germes à travers le filtre.

L'objection que M. le Docteur Gibert faisait à ce sujet, basée sur le résultat négatif de la recherche du bacille d'Eberth dans les canaux de Saint-Laurent n'a qu'une valeur relative. Cette recherche négative indique simplement que la contamination n'est pas massive ou est très difficile à déceler.

C'est ce qui résulte des nombreuses expériences faites sur nos eaux par M. le Docteur Pottevin ou par moi-même. Si on jette un coup d'œil sur les analyses bactériologiques faites pendant 20 ans, on voit que les crues microbiennes sont de durée très courte. Comme en temps d'épidémie on ignore ce fait, et que beaucoup, pour ne pas dire presque toutes les prises pour la recherche du bacille d'Eberth, n'ont pas été faites après une pluie à ruissellement, il y avait beaucoup de chances de ne pas rencontrer dans l'échantillon une quantité notable de germes typhiques.

J'ajouterai plus : la recherche avec succès du bacille d'Eberth dans des échantillons de l'eau de Saint-Laurent, contaminée artificiellement par moi-même, donne des résultats négatifs extrêmement fréquents, avec toutes les méthodes de recherches connues à l'heure actuelle, après des

essais répétés plus de cent fois. Recherche positive dans 4 à 5 o/o des analyses au plus.

Bien que l'argument invoqué ci-dessus laisse en grande partie à la théorie de M. le Professeur Brouardel sa valeur, je n'admettrai pas complètement avec lui que les germes pathogènes entraînés en octobre-novembre suivent les eaux à travers le filtre et arrivent aux drains de captage avec celles qui ont mis huit à neuf mois à parcourir toute la hauteur du filtre dans la roche. La grosse masse des eaux qui a mis huit à neuf mois à descendre dans 60 mètres de craie, sont celles qui ont subi une filtration dans la craie non fissurée ou dans les fissures colmatées par l'argile à silex. Ce fait est reconnu tacitement par M. Martel lui-même. Dans son traité des eaux souterraines, chapitre des résurgences du Pays de Caux, rivières souterraines d'Etretat, puits Dubosc, M. Martel établit une distinction très nette entre les eaux des fissures non colmatées et celles des fissures colmatées. Il dit en effet : « 3° Un conduit naturel à sec, d'où « émanaient par intermittences des odeurs ammoniacales « nauséabondes, attestant la relation avec des infiltrations « de purin de ferme dans les fissures du plateau, à 80 mètres « plus haut. Il est donc certain qu'en ce point, la contami- « nation des infiltrations souterraines est à redouter, les « fissures de la craie n'étant pas colmatées, tandis qu'elles « le sont dans d'autres parties des plateaux cauchois, où « les pluies mettent de 4 à 30 mois pour réapparaître aux « sources. »

La pureté de ces eaux profondes qui ne réapparaissent qu'après de longs mois est indiquée par la très faible teneur en germes révélée par nos analyses et à l'absence de *bacterium coli* en période sèche prolongée sans pluie à ruissellement. Je baserai aussi mon opinion sur une série d'expériences faites par M. le Docteur Pottevin et par moi-même sur les filtres à sable et sur les filtres de porcelaine. Il n'y a pas lieu de prendre à la lettre les expériences de Pasteur et Joubert sur l'efficacité complète de la filtration du sol. La valeur des filtres à substances poreuses exemptes de fissures n'est pas absolue et il est reconnu aujourd'hui qu'il

est possible d'obtenir le passage de microbes mobiles à travers le filtre, suivant que le milieu est plus ou moins favorable au développement de ces microbes et que la paroi est immergée complètement dans ce milieu. Si les germes typhiques et *bacterium coli* traversent les filtres sans fissures avec le milieu de culture eau, la théorie de M. le Professeur Brouardel doit être admise sans discussion : si ces mêmes germes ne passent pas, la valeur de la théorie est fortement diminuée. Or, de longues expériences de M. le Docteur Pottevin, effectuées sur la bougie Chamberland avec de l'eau venant de la craie du Pays de Caux, établissent que pendant 13 mois, l'eau qui contenait toujours du *coli bacille* a pu passer dans ce filtre sans que ce microbe fut retrouvé dans l'eau filtrée, alors qu'on retrouvait d'autres microbes capables de se développer dans cette eau. De plus, si on fait passer sur un filtre à sable non submergé, souillé en surface avec du bacille d'Eberth de l'eau de la craie stérilisée, une colonne de 40 c. de hauteur de sable tamisé au tamis 3, n° 60 (60 mailles pour $27 \frac{m}{m}$) est capable d'arrêter pendant sept mois le bacille typhique, avec des vitesses d'écoulement de l'ordre de celle de la filtration naturelle 0.019 à 0.05. J'ai répété les mêmes expériences avec du *bacterium coli* : une hauteur du même sable de 30 centimètres a été traversée avec écoulement sans submersion pendant plus d'un an par de l'eau souillée avec ce germe sans qu'on l'ait jamais retrouvé à la sortie du filtre.

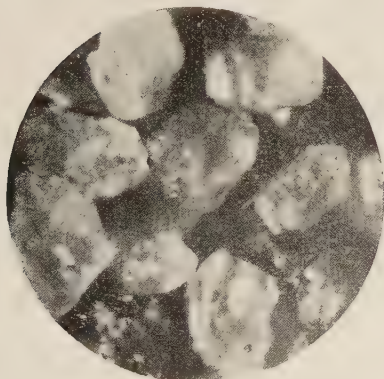
Si l'on jette un coup d'œil sur les photographies ci-contre (fig. 10) on verra bien que notre comparaison de la roche calcaire non fissurée ou à fissures colmatées par le sable de décalcification avec les filtres artificiels stérilisants, est très soutenable. On voit sur ces épreuves photographiques que le filtre naturel de craie se classe comme dimensions d'éléments, plus près de la bougie de porcelaine que du filtre à sable. Comme ce dernier est efficace pour retenir le *bacterium coli* et le bacille typhique, on est en droit de croire que la roche ou le sable, présentant dans le sol la même texture, jouent le même rôle avec des eaux circulant lentement et sans forte pression. Mais tous ceux qui se sont occupés de filtration sur le sable savent

très bien que des variations de débit sous l'action de la pression et de la vitesse d'écoulement amènent parfois le passage des germes qui ne passent pas en régime normal. Aussi, tenant compte de certaines relations entre l'allure des courbes des épidémies de fièvre typhoïde, j'accorderai à M. le Professeur Brouardel que, dans quelques parties du filtre peu serrées au moment de la crue du débit août-septembre, certaines perturbations de vitesse peuvent faciliter, en de rares points, le passage du *bacterium coli* et du bacille d'Eberth.

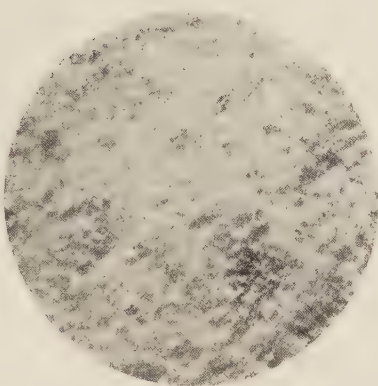
Il y a lieu d'admettre aussi que dans le filtre naturel peuvent exister des cavités profondes, à déversement par syphon, souvent mises en communication avec de rares diaclases non colmatées par le sable argileux, comme celle que signale M. Martel au puits Dubosc du Tilleul, diaclases pouvant recevoir des eaux superficielles souillées de germes pathogènes. Ces cavités où les germes nocifs pourraient se conserver longtemps à l'obscurité, ne se videraient qu'au moment des forts débits annuels, soit dans la période d'avril à août. D'où la relation possible encore entre les crues annuelles et quelques souillures des eaux à longue échéance après les pluies à ruissellement.

D'après toutes les données des chapitres précédents, le mécanisme de la pénétration possible des germes dangereux serait le suivant : Je serai d'accord avec M. le Docteur Gibert sur la pureté de la grosse masse de nos eaux qui ont mis de quatre à trente mois et plus à traverser la portion du filtre non fissurée (car la craie est perméable) et à fissures colmatées. Mais je me rangerai à l'avis de M. Martel et à celui de la plupart des géologues et hygiénistes qui se sont occupés de la craie. Le danger vient des fissures non colmatées où les eaux sauvages coulent rapidement sans filtration au moment des fortes pluies et arrivent en quelques heures ou quelques minutes ou secondes aux canaux aquifères profonds. Ces fissures existent, petites il est vrai dans notre région, mais elles existent cependant surtout au bord des falaises des vallées profondes ; le nier serait nier l'évidence même. Les nombreuses analyses effectuées au labo-

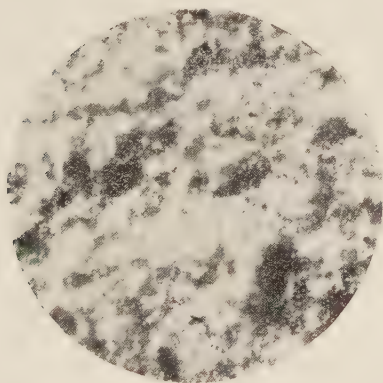
Filtre à sable non submergé.
Sable passé au tamis n° 60.



Bougie de porcelaine
Chamberland F.



Craie du Pays de Caux.



Grossissement : 90 diamètres. Clichés F. Daligault.

FIG. 10. — Comparaison de la texture de la craie du Pays de Caux avec celle de la bougie de porcelaine Chamberland F et avec celle d'un filtre à sable fin non submergé.

ratoire du Havre, après les pluies à ruissellement, confirment nettement cette manière de voir. Dix-huit heures environ après ces pluies, le nombre des germes divers et de bacille coli augmente notablement. Cette augmentation est due au mélange d'eaux superficielles salies par un parcours plus ou moins grand sur le sol, et qui sont descendues jusqu'aux canaux souterrains inférieurs par ces quelques fissures du filtre non colmatées. Or, nous avons vu que, sur certains points, ces eaux peuvent rencontrer des germes typhiques, provenant de déjections de malades résidant sur le plateau, ou provenant de quelques tonneaux de vidange servant d'engrais pour la culture.

Dès lors, le mécanisme de l'arrivée des germes typhiques devient différent de celui indiqué par M. le Professeur Brouardel. Ces germes dangereux ne suivent pas les pluies qui filtrent dans la roche non fissurée pendant plusieurs mois, mais elles suivent l'eau de pluie qui ruisselle et qui descend immédiatement dans les fissures non colmatées. L'arrivée des germes est donc fonction immédiate de la pluie à ruissellement. Mais alors, l'objection suivante que l'on faisait et que se faisait à lui-même M. le Professeur Brouardel, prend de l'importance : « Le temps écoulé entre l'époque du déversement des tinettes et l'apparition de la fièvre typhoïde est « bien long, l'épandage ayant lieu d'août à octobre, et les « épidémies éclatant en mai. » Cette objection peut disparaître, si l'on tient compte de la vitalité du bacille typhique dans le sol humide, et de l'influence de la température sur son développement. M. le Docteur Gibert n'admettait pas la possibilité de la longue survie du bacille typhique sur le sol. Sur ce point je ne serai pas d'accord avec lui, en me basant sur l'expérience suivante. Dans un ballon d'un litre, j'ai placé de la terre de culture des champs de Saint-Laurent stérilisée et de l'eau de Saint-Laurent filtrée sur bougie de porcelaine. J'ai versé dans ce ballon du bacille typhique provenant d'une culture sur gélose. Ce ballon est resté dans une pièce sans feu deux ans, à l'obscurité. Au bout de ces deux ans, on retrouvait encore du bacille typhique. Le bacille retrouvé était modifié au point de vue forme (ten-

dance aux formes cocco-bacille), mobilité (diminution très marquée), pouvoir d'agglutination (très diminué), modifications signalées par M. le Docteur Pottevin sur du bacille typhique ayant séjourné sept mois dans une couche de filtre à sable. Ces modifications indiquent bien que les germes qui ne sortent pas immédiatement de l'organisme humain, sont modifiés et vraisemblablement moins virulents. Mais ils n'en existent pas moins ; il est très rationnel de supposer, qu'après un séjour plus ou moins prolongé dans le corps humain, ces germes pourront reprendre dans certaines circonstances favorables, leur virulence et leur action nocive.

Il n'est donc pas douteux que des germes typhiques restent vivants de très longs mois, mais à la surface du sol humide. Après les épandages de 1886 à 1889, il y en avait sûrement au printemps suivant, car les expériences de Prudden démontrent que le bacille d'Eberth résiste trois mois à une température de -11° . L'importance de la température doit, elle aussi, entrer en ligne de compte dans le mécanisme de transmission de la fièvre typhoïde par les microbes répandus sur le sol. La chaleur est un élément extrêmement favorable au bacille typhique qui est un thermophile. J'ai souvent pu constater au laboratoire que ce bacille ne se développait pas ou se développait très faiblement dans les bouillons à la température de 15° et au-dessous. Tandis que le développement devenait extrêmement net et abondant au-dessus de 15° surtout aux environs de 20° - 25° . Ce qui se passe dans les tubes de culture doit se passer dans le sol. Si bien que les germes répandus au début de l'hiver peuvent très bien être beaucoup plus nombreux au printemps et été suivants. Ceci permettrait dans une certaine mesure d'expliquer l'objection que se faisait M. le Professeur Brouardel lui-même. Notre explication cadre même très nettement avec le fait bien constaté partout et surtout au Havre, de la fréquence de la fièvre typhoïde en été-automne, période où la température moyenne oscille généralement entre 15° et 25° . Les germes typhiques répandus sur le sol au début de l'hiver pourraient très bien ne

pulluler sur les matières organiques du sol qu'aux mois avril-mai-juin-juillet-août-septembre, lorsque la température leur est clémente ; d'où plus grandes chances de souillure des eaux de ruissellement à cette époque chaude.

Maintenant que nous connaissons l'importance des pluies à ruissellement et le rôle qu'elles jouent dans le mécanisme de pénétration rapide des eaux impures jusqu'aux canaux aquifères profonds, il me semble utile de faire un retour en arrière et de voir s'il y eut, au moment des épidémies, des pluies capables d'influencer la qualité de l'eau, c'est-à-dire égales et supérieures à 8 millimètres par vingt-quatre heures. Nous rechercherons en même temps s'il y a eu des causes spéciales de contamination des eaux sauvages provenant de ces pluies et s'il existe une relation entre le nombre des cas de fièvre typhoïde et ces chutes d'eau importantes.

Au moment de l'épidémie de 1887-1888, nous admettrons sans discussion, avec MM. les Professeurs Brouardel et Thoinot, que les germes typhiques devaient exister dans les champs voisins des captages de Saint-Laurent. En effet, de 1886 à 1888, sur les terres d'Aplemont et du voisinage, marquées 7 sur le plan des environs des sources, des quantités énormes de vidanges furent répandues comme fumier. Plusieurs milliers de tinettes de vidanges venaient du Havre ou de Gravelle. Or, qui dit matières fécales venant de villes où la fièvre typhoïde est endémique, dit matières contenant des germes typhiques, qui se conservent presque indéfiniment sur les parois des récipients et dans les bassins de décantation.

Les personnes qui connaissent Saint-Laurent et celles qui vérifieront le relief du sol sur le plan n° 12, ne douteront pas un seul instant que la pente entraîne naturellement une grande partie des eaux de ruissellement des champs dont nous parlons, dans la direction du « Câtillon », par la Ruelle aux Loups et la route de Gainneville. Si, aujourd'hui, ces eaux, grâce aux terrains de protection et aux travaux sérieux exécutés avec le plus grand soin par le Service des

Eaux, ne vont plus vers les bâtiments de captage, en 1887, 1888, 1894, les eaux de pluies violentes descendaient très près des bassins. Le champ qui surplombe un peu à l'Est les sources du « Câtillon » et qui, à l'heure actuelle, est boisé et enclavé dans les terrains de protection, devait présenter un réel danger, lorsqu'on y déversait des matières fécales. Les eaux de ce champ devaient certainement parfois atteindre les bâtiments des prises d'eau. Cet état de protection déplorable était d'ailleurs reconnu par les adversaires eux-mêmes de la théorie de M. Brouardel. M. le Docteur Gibert dit, dans son article de la Revue d'Hygiène, année 1896, sur la fièvre typhoïde au Havre en 1894 : « ...En « présence de cette constatation faite par M. Mosny, d'une « quantité considérable de bacilles communs du côlon, il « me parut évident que les prélèvements n'avaient pas été « faits avec tout le discernement nécessaire.

« J'étais absent du Havre quand y vint le Docteur Mosny, « en sorte qu'il préleva ses échantillons dans les bassins de « captage et pas du tout dans les tunnels d'amenée; le prélè- « vement s'était fait peu de jours après que des pluies « torrentielles avaient ravagé la région de Saint-Laurent; « par suite, l'eau des bassins de captage avait pu, nous le « savions, être mêlée à des eaux de surface. De là, l'appari- « tion en nombre de bacilles du côlon. Mais les bassins « de captage sont essentiellement distincts des sources; « s'ils sont défectueux, ils sont réparables. »

Ce qui se passait en temps d'orages violents en 1894, se passait à plus forte raison en 1887 et 1888, alors qu'il n'existait aucun terrain de protection aux abords mêmes des captages.

Y a-t-il eu en 1887 des pluies violentes de cette nature ? On peut, sans crainte, répondre oui. Si nous jetons un coup d'œil sur le graphique n° 10, se rapportant à l'année d'épidémie 1887, nous voyons que dans la période fin janvier à avril 1887, nous n'avons aucune pluie dangereuse. Le 2 mai, pluie de 11 mill. 7 et de 17 mill. 2 le 6 mai. On constate une augmentation sensible des cas de fièvre

typhoïde dans la semaine du 29 au 4 juin. Le 2 juin 1887, pluie violente de 20 mill. 2, pluie à fort ruissellement, la plus violente depuis les épandages de 1886, début réel et marqué de l'épidémie dans les semaines du 26 juin au 9 juillet avec 32 cas du 3 au 9 juillet. Pluie très violente : 27 mill. 5, le 16 août 1887. Le maximum des cas, 163, se produit dans la semaine du 28 août au 3 septembre. Pluie : 13 mill. 2 le 18 août, nombre de cas très élevé pendant tout le mois de septembre jusqu'au 15 octobre.

L'examen très bref de la période d'épidémie de 1888, qui n'est pour ainsi dire que la suite de celle de 1887, nous montre que l'épandage était aussi important pendant l'automne 1887. De plus, cette année-là, il y a eu aux environs même des sources du « Câtillon », des cas de fièvre typhoïde dans des endroits marqués au plan n° 12, où les eaux de ruissellement pouvaient se diriger vers les bassins de captage, très mal protégés à cette époque.

Pour cette année 1888, les pluies violentes à ruissellement, se répartissent comme suit sur le graphique n° 10 : Pluie de 16 mill. 2 pendant la période froide de février, sans effet sur l'état sanitaire au point de vue fièvre typhoïde. Pluie forte, 17 mill. 2, le 22 avril 1888, légère augmentation des cas de fièvre typhoïde dans la semaine du 13 au 19 mai. Pluie 13 mill. 7 le 16 mai, même nombre de cas dans les deux semaines du 17 mai au 9 juin. Le 5 juin, pluie violente, 18 mill. 7, et 16 mill., le 6 juin, augmentation très notable des cas, début marqué de l'épidémie grave, 81 cas du 15 au 21 juillet. Pluie violente le 23 juillet, 17 mill. 2, maximum des cas, 132, du 26 août au 1^{er} septembre. On peut remarquer que la période d'épidémie la plus grave suit la période de pluies les plus violentes qui se sont produites en période chaude, depuis le mois de novembre, époque d'épandage d'automne 1887.

Pendant la période d'épidémie de l'année 1894, l'influence de l'épandage devait être certainement moins redoutable, car il avait diminué d'une façon très notable. Au voisinage d'Aplemont, on ne répand plus sur le plateau que quelques

tinettes de vidanges, dont le plus grand nombre est mélangé avec du fumier, comme le déclare M. le Docteur Gibert. Restait-il des germes typhiques vivants apportés pendant la mauvaise période d'épandage de 1886-1892 ? Probablement oui. Quelle était leur virulence ? Il serait difficile de le dire, l'expérience seule sur l'homme pourrait prouver ce que deviennent dans l'organisme humain, des bacilles qui ont vécu deux ou quatre ans dans le sol.

Il y a lieu de signaler qu'en 1894, de nouvelles sources « Pruniers », « Grandes Sources » et de « l'Eglise » étaient jointes à celle « du Câtillon ». On peut se rendre compte sur le plan n° 12 que d'après l'inclinaison du sol, les eaux de ruissellement des champs voisins du château d'Aplemont descendent aussi vers les « Grandes Sources » et « Sources de l'Eglise ». Si aujourd'hui, grâce aux soins méticuleux de M. Lefebvre, Ingénieur, Directeur du Service des Eaux, les travaux de protection de ces sources ont été faits, aux époques qui nous occupent, les eaux d'orages souillées s'accumulaient juste auprès du bâtiment de captage. Dans un rapport manuscrit, M. le Docteur Gibert dit : « Les « hygiénistes, aidés en cela par le Service des Eaux du « Havre, dont le zèle et la compétence, sous la direction « de M. Cherfils, adjoint, ne sauraient être trop loués, « avaient reconnu que les « Grandes Sources », près de « l'église de Saint-Laurent, présentaient des défauts « sérieuses. Dans les jours d'orage, il avait été facile de « constater que l'eau de surface s'accumulait juste auprès « du bâtiment de captage des « Grandes Sources » et en « menaçaient la pureté. On pouvait, et on l'a fait ces jours- « là, couper la conduite. »

Comme on le voit, les nouvelles sources n'étaient pas en 1894 beaucoup mieux protégées que « le Câtillon », bien que déjà autour de ce captage les terrains de protection sans fumiers s'établissaient et que des travaux de dérivation des eaux de ruissellement s'installaient.

Nous trouvons encore pour cette année d'épidémie, une série de pluies dangereuses au début et au cours de la période du mauvais état sanitaire au point de vue fièvre typhoïde.

Pendant la période fraîche de janvier et février, nous trouvons au graphique n° 10, une pluie de 20 millim. et une de 15 millim. sans action sur la morbidité typhique. Pluie de 12 millim. 2 le 27 avril 1894, légère augmentation des cas dans la semaine du 13 au 19 mai. Le 27 mai, pluie violente de 21 millim. 2, les cas de fièvre typhoïde deviennent beaucoup plus nombreux dans les semaines du 3 au 16 juin. Le 12 juin, pluie de 13 millim. 7, 9 millim. le 13 et 17 millim. le 18 juin, accroissement progressif des cas qui atteignent le nombre de 71 dans la semaine du 8 au 14 juillet. Le 11 juillet 1894, pluie de 11 millim. 7, 9 millim. 5 le 13 juillet, 17 millim. 7 le 23 juillet, 18 millimètres 2 le 29 juillet, 15 millim. 1 le 30, nombre élevé de cas pendant tout ce mois, 50 à 89 par semaine.

Le 7 et 8 août 1894, pluie de 16 millim. 7 et 8 millim. 2; le maximum des cas, 99, se produit dans la semaine du 26 août au 1^{er} septembre, à la suite d'une période de plus d'un mois de pluies violentes. Les chutes importantes d'eau continuent : 11 millim. le 27 août, 10 millim. le 3 septembre, 8 millim. 2 le 8 septembre, 11 millim. 2 le 10 de ce mois, 26 millim. 2 le 22 septembre, 12 millim. 7, 12 millim. 2, 14 millim. 8, 26 millim., les 23, 24, 25, 26 septembre 1894; le mauvais état sanitaire se prolonge jusqu'au 13 octobre, et dans la semaine du 7 au 13 octobre on constate 69 cas, nombre de cas supérieur à celui constaté pendant l'épidémie violente de l'année 1887, qui avait eu peu de pluies violentes dans le mois de septembre.

Nous trouvons dans les analyses de M. le Docteur Mosny, des renseignements qui ont une certaine valeur pour indiquer l'influence des pluies violentes sur la qualité des eaux de Saint-Laurent. M. le Docteur Mosny avait, en effet, analysé les eaux bues au Havre dans la période du 20 au 21 juillet, après les pluies violentes des 12 et 13 juillet, pendant lesquelles les captages avaient pu être souillés, comme nous l'avons vu un peu plus haut, dans deux citations de M. le Docteur Gibert, soit au « Câtillon », soit aux

« Grandes Sources ». Le résultat de ces analyses au point de vue numération des germes est le suivant :

ANALYSES DE M. LE DOCTEUR MOSNY

(20 et 21 Juillet 1894)

Eaux des sources de Saint-Laurent-de-Brèvedent

Nombre de bactéries
par centimètre cube.

« Grandes Sources »	a) Bassin de captage, tuyau d'arrivée	150
	b) Départ pour le bassin des « Pruniers »	300
« Pruniers »		350
« Catillon »		350
» (Réservoir)		550
Réservoir rue de Conti		290
» des Hallates		350
» rue de la Ferme		650
Fontaine rue de Mer, alimentée par l'eau de St-Laurent		1.500
» rue Maraine, angle de la rue d'Eprêmesnil...		500
» rue des Remparts, angle de la rue Martonne.		300
» rue du Grand-Croissant, 54		360

Toutes ces eaux contenaient du bacterium coli.

Bien que nous ayons constaté que toutes les analyses, faites à Paris, un certain temps après le prélèvement, donnent un chiffre supérieur à celui trouvé au laboratoire du Havre où l'ensemencement est immédiat, on peut cependant dire que la qualité des eaux était défectueuse, qualité « démontrant qu'aux eaux de sources se mêlent des eaux « de surface qui y entraînent des bactéries terrestres », comme le disait M. Mosny lui-même. Elles se classaient d'après l'échelle de M. Miquel, comme eaux médiocres et plusieurs échantillons comme eaux suspectes. Alors que d'habitude, elles ne contiennent que peu de germes, 2 à 50 environ. Si nous tenons compte que la crue microbienne dure, à l'heure actuelle, au plus trois jours, on doit admettre que la perturbation par les pluies d'orages, 11 millim. 7 et 9 millim. 5, avait été les 11 et 12 juillet, particulièrement importante, pour être encore sensible sept ou huit

jours après. La différence de qualité des eaux ressortira très nettement de la comparaison faite avec les analyses effectuées, elles aussi à Paris, par M. Miquel, en novembre 1895, sur des prélèvements faits le 22 de ce mois, en période froide, sans épidémie, avec pluie un peu moins violente, une semaine avant, 10 millim. 2 le 12 novembre.

ANALYSES DE M. LE DOCTEUR MIQUEL

(22 Novembre 1895)

Eaux des sources de Saint-Laurent-de-Brèvedent

	Nombre de bactéries par centimètre cube.
Source « Câtillon », tunnel n° 1	7.5
» » tunnel n° 2	52
Départ des sources de « Câtillon »	30
Source des « Pruniers »	10
« Grandes Sources »	24
Fontaine de la rue du Lycée, alimentée par l'eau de Saint-Laurent	19
Fontaine rue de Mer	240
Réservoir rue de la Ferme	388
» rue de Conti	1.033

Au cours de l'épidémie de 1900, les relations entre l'état typhique, l'épandage et les pluies violentes, est plus difficile à établir. On peut admettre que, si des germes typhiques restaient vivants sur le sol, dix ans après les épandages intensifs de 1886 à 1890, ce qui est fort possible, ces germes étaient particulièrement atténués par ce séjour inusité hors de l'organisme humain. Il est certain que l'épandage était très restreint en 1900. Au cours de mes enquêtes, il m'a été impossible de savoir s'il avait été pratiqué dans la région d'Aplemont; vraisemblablement il n'a pas existé. Tout au plus, peut-on dire qu'il se pratiquait très faible dans la région du Carreau, hameau de Saint-Laurent, à Sainneville et à Epretot. Car, au cours de mes tournées, j'ai eu occasion de rencontrer de très rares tonneaux de vidanges qui montraient vers les fermes de ces régions assez éloignées des sources. Les terrains de protection des sources étaient déjà bien aménagés.

Cependant, il existait quelques points dangereux près des sources « des Pruniers », « des Grandes Sources » (déjà signalées en 1894) et à la sortie de la Ruelle aux Loups, sur lesquels les eaux sauvages pouvaient atteindre nos captages, comme des expériences à la levure l'ont démontré, ainsi que nous l'avons dit dans un des chapitres précédents.

Pour les pluies dangereuses, même difficulté pour établir une relation très marquée entre ces pluies et la marche de l'épidémie, l'année 1900 ayant été peu pluvieuse dans la saison printemps-été.

Nous trouvons cependant dans la période précédant le début de l'épidémie, les 4 et 7 avril 1900, une pluie de 10 millim. 7 et 8 millim. 5, avec une recrudescence légère des cas de fièvre typhoïde dans les semaines avril et mai qui suivent. Le 23 juin, pluie de 8 millim., augmentation très marquée du nombre de cas. Le 2 juillet, pluie de 8 millim. 7, augmentation très forte des cas pendant tout ce mois. Le 3 août, pluie de 10 millim., très mauvais état sanitaire, augmentation continue des cas de fièvre typhoïde. Le 26 août, pluie de 11 millim. 2, maximum des cas pendant le mois de septembre, toujours après les pluies les plus violentes de la période chaude. Les pluies de juillet-août furent certainement des pluies d'orage à ruissellement violent. Je me souviens encore que le laboratoire de bactériologie fut plusieurs fois inondé, les tuyaux de descente ne pouvant débiter régulièrement l'eau de ces averses orageuses violentes. Nous voyons encore une série de pluies violentes, le 18 octobre 26 millim. 2, le 22 octobre 9 millimètres, le 26 octobre 9 millim. 5, 11 millim. le 30 octobre; le mauvais état sanitaire se prolonge en octobre et novembre, plus que les autres années d'épidémie, pendant lesquelles le mois d'octobre avait été moins pluvieux. Nous trouvons en effet le nombre de cas suivant pour ces mois :

1900		1887		1884		1894	
Octob.	Novemb.	Octob.	Novemb.	Octob.	Novemb.	Octob.	Novemb.
—	—	—	—	—	—	—	—
388	438	259	411	485	407	484	59

Comme nous venons de le voir, au cours des épidémies, les fortes pluies à ruissellement paraissent avoir eu une influence sur la variation dans le nombre des cas de fièvre typhoïde.

Il nous reste pour terminer à rechercher pour la période de vingt ans d'endémie typhique 1901 à 1921, si nous trouvons une même relation entre les pluies à ruissellement et le nombre de cas de fièvre typhoïde. Si nous examinons les graphiques n^{os} 7, 8, 9, sur lesquels sont rapportés les pluies, le nombre de microbes dans l'eau et les cas de fièvre typhoïde, on remarquera facilement que, très souvent, l'état sanitaire au point de vue fièvre typhoïde a été plus mauvais dans les périodes de fortes pluies pendant lesquelles le nombre de microbes a augmenté dans l'eau, par suite des perturbations apportées par les eaux de ruissellement venant de ces pluies. La période la plus mauvaise, 1894-1895, qui a été presque marquée par une petite épidémie, a nettement suivi la période exceptionnelle des pluies les plus violentes qui se sont produites pendant ces vingt années. On remarquera que les époques les meilleures, pendant lesquelles il y a eu le moins de cas de fièvre typhoïde, ont suivi les périodes sans pluies à ruissellement. On a pu d'ailleurs observer très fréquemment au laboratoire où l'on fait les séro-réactions de Widal pour les Hôpitaux, que les résultats positifs deviennent souvent plus fréquents huit à vingt-cinq jours après les fortes pluies, période qui peut correspondre à la période d'incubation des cas de fièvre typhoïde, ensemencés par les eaux de ruissellement provenant de ces fortes pluies. Cette constatation a été particulièrement nette cette année 1921 : pendant la période de huit mois, de janvier à août, à sécheresse exceptionnelle, on ne voyait au laboratoire presque aucune réaction de Widal positive, l'état sanitaire typhique était excellent. Huit à dix jours après les pluies orageuses et violentes d'août, ont apparu des réactions de Widal positives et un certain nombre de cas de fièvre typhoïde ont été signalés.

Les observations que je viens de rapporter, sévèrement, je le reconnais, dans l'intérêt de la vérité, seraient peut-

être de nature à donner aux lecteurs non prévenus, une opinion défavorable sur la qualité de nos eaux, qui ne correspondrait pas à la réalité, à l'heure actuelle. Je tiens à faire remarquer que, depuis l'installation des terrains et des travaux de protection, l'influence de l'eau sur la morbidité typhique doit être assez faible à en juger par la faible proportion de décès et des cas constatés dans les dernières années. La formule d'appréciation de nos eaux doit maintenant être, je crois, celle que donnait en 1904, M. le Docteur Pottevin, dans la Revue d'Hygiène, elle « consisterait à « admettre que l'eau potable peut intervenir pour l'ensemencement d'un certain nombre de cas (à la suite des « pluies à ruissellement) mais que leur multiplication et « par conséquent le développement épidémique de la poussée est surtout le fait des autres facteurs locaux (conditions hygiéniques spéciales de la ville) et saisonniers. »

CONCLUSIONS

Les eaux d'alimentation de la Ville du Havre émergent d'une zone de craie turonienne, surmontée de craie sénonienne peu fendillée et à diaclases généralement colmatées par les argiles et sables de décalcification. Ces eaux ne viennent pas d'une nappe uniforme et continue. Elles proviennent de canaux aquifères ou petites rivières souterraines. Ces rûs souterrains drainent des eaux pures filtrées dans la craie non fissurée et dans les fissures colmatées, eaux « d'exurgences filtrées ». A ces eaux pures se mélangent quelques eaux impures non filtrées, eaux de « résurgences », notamment pendant les périodes de pluies à ruissellement donnant 8 millimètres de hauteur d'eau en 24 heures.

Ceci nous permet de dire avec M. le Docteur Gibert et avec M. le Docteur Miquel, qu'en période sèche ou de petites pluies, les eaux du Havre « se montrent, au point de vue « du nombre de micro-organismes, d'une pauvreté exceptionnelle, et qu'il existe peu de villes en France et même « à l'étranger, pourvues d'une eau microbiennement aussi « pure. » On peut donc dire eaux de bonne qualité.

En période de pluie à ruissellement marqué, pendant quelques jours seulement de l'année, la qualité de l'eau est influencée d'une façon défavorable par l'arrivée de petites quantités d'eaux de « résurgences » impures qui pénètrent par les fissures non colmatées de la craie. A ces courts moments, l'eau peut devenir de qualité médiocre pendant quelques heures.

Tout à fait exceptionnellement, à la suite d'orages très violents, trombes d'eau, fontes de masses de neiges impor-

tantes, la qualité de l'eau peut devenir suspecte à cause du trouble de l'eau occasionné par l'arrivée de masses d'eaux superficielles en quantité notable, inondation au voisinage des captages, surpressions dans certaines portions du filtre. Le trouble se produit plus fréquemment à la source de « Broui-Cérès », à Radicatel.

Bien que la preuve de l'origine hydrique des épidémies de fièvre typhoïde au Havre n'ait pas été faite d'une façon certaine et irréfutable, on peut dire, maintenant que l'on connaît bien mieux les causes de variations de la qualité de nos eaux, que la qualité de l'eau a pu dans les périodes d'épidémie 1887-1888-1894 être influencée, surtout en temps de pluies à ruissellement, par l'épandage intensif de vidanges au voisinage immédiat des sources. Cet épandage était d'autant plus dangereux qu'à cette époque la protection des prises d'eau n'existait pas, fait même reconnu par les adversaires les plus ardents de la théorie hydrique.

Pendant les épidémies, la courbe d'ascension des cas suit la courbe d'ascension moyenne du débit annuel des sources ainsi que la courbe ascensionnelle de la température de l'eau aux captages et aux bornes-fontaines et celle de la température de l'air. Le maximum des cas a toujours eu lieu en août-septembre, après les pluies les plus violentes de la période chaude.

En période d'endémie, le meilleur état sanitaire au point de vue fièvre typhoïde se produit après les périodes sans pluie. Après les pluies à ruissellement, l'augmentation des cas de fièvre typhoïde se produit généralement de dix à vingt-cinq jours après la pluie, temps qui correspond à la période d'incubation de la fièvre typhoïde contractée au moment de ces pluies. Ces observations portent sur une période de vingt années.

La qualité des eaux du Havre devra donc être très surveillée après les pluies supérieures à 8 millimètres par vingt-quatre heures, notamment dans la période chaude avril à octobre.

Depuis 1894, la Ville du Havre a déjà fait de très grands efforts pour l'amélioration et la protection de ses prises

d'eau. A l'heure actuelle, les grosses contaminations sont peu probables et seraient facilement décelées par la surveillance constante des eaux. Les eaux du Havre ne méritent donc plus leur ancienne mauvaise réputation, bien que provenant de la craie et d'une zone habitée. On peut dire que Le Havre possède une distribution d'eau bien installée, qui peut sans crainte supporter, avec avantage, la comparaison avec la plupart des villes de France. Mais, les services techniques et scientifiques de la Ville du Havre ne doivent pas seulement maintenir la bonne situation actuelle, il y a encore beaucoup à faire pour perfectionner l'œuvre de protection des eaux d'alimentation déjà commencée. Il faut continuer l'étude du bassin d'alimentation pour découvrir tous les points faibles du filtre naturel, assurer l'évacuation hygiénique des matières usées des agglomérations situées dans ce bassin, y créer un service de surveillance médicale et sanitaire, augmenter la zone des terrains de protection, améliorer certains captages et créer une installation de stérilisation capable de purifier l'eau aux moments où le service de surveillance constaterait des perturbations dans la qualité de l'eau.

Il y a là des problèmes extrêmement sérieux qui doivent retenir d'une façon toute particulière l'attention des Administrateurs du Havre, et à la réalisation desquels je m'efforcerai toujours de contribuer dans la mesure de mes très faibles moyens, comme je l'ai fait pendant les vingt années d'expériences rapportées dans ce travail.



BIBLIOGRAPHIE

- Annales Institut Pasteur* (Tome IV). — DUCLAUX : *Le filtrage des Eaux*. Edit. Masson.
- Annales Institut Pasteur* (Année 1894). — DUCLAUX : *Moyens d'examen des eaux potables*.
- Annales Institut Pasteur* (Tome XIX. Année 1905). — F. DIENERT : *Des méthodes employées pour surveiller les eaux destinées à l'alimentation*.
- Annales Institut Pasteur* (Tome XIX, Année 1905). — H. VINCENT, Professeur du Val-de-Grâce : *Sur la signification du « Bacillus coli » dans les eaux potables*.
- Alimentation d'une ville en eau potable*, Dr Eugène MARAIS. Thèse de Doctorat en médecine. — Paris, Librairie médicale et scientifique, Jules Rousset, 1908.
- Association française pour l'avancement des sciences* (1877, séance du 24 Août). — M. M. MEURDRA, lieutenant-colonel du génie en retraite, Directeur de la Compagnie des Eaux du Havre : *Etude sur le régime des eaux du Havre*.
- Association française pour l'avancement des sciences* (1914, 27 Juillet, Havre, 43^e Session). — P. LEMOINE, Chef des travaux de Géologie appliquée à l'Ecole des Mines, Paris : *La Géologie profonde du Pays de Caux*.
- Bulletin Géographique Historique et Descriptif* (N^o 1, N^o 2, 1908). — Albert et Alexandre MARY : *L'Enfouissement des Eaux de la Seine-Inférieure*.
- Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de la Seine, de la Seine-Inférieure* (Mars 1918-Janvier 1919). — *Communications* de M. H. SAUNIER, Agent-voyer en chef de l'arrondissement du Havre.
- Bulletin de la Société Géologique de France* (1863 et suivantes). — HÉBERT : *Note sur la craie blanche*.
- Bulletin de la Société Géologique de France* (Année 1900, Extrait). — M. Léon JANET : *Conférence de Géologie appliquée sur le captage et la protection des sources d'eaux potables*.
- Bulletin de la Société Géologique de Normandie* (Tome VI, Année 1879, Résumés). — *Etudes et Mémoires sur la Géologie de Normandie*. — Imprimerie du Journal « Le Havre ».
- Cartes géologiques et de l'Etat-Major*, au 1/80.000^e de la Normandie et Picardie.

- Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France* (Séance du 2 Février 1921). — F. DIENERT : *Du rôle des pluies dans l'alimentation des nappes souterraines*. — Paris, Académie d'Agriculture de France, 18, rue de Bellechasse.
- L'Eau souterraine*. — E.-A. MARTEL, Doin, 1908.
- Enquête sur les causes des Epidémies de fièvre typhoïde au Havre et dans l'arrondissement du Havre en 1887-1888*, par MM. le Professeur BROUARDEL, doyen de la Faculté de Médecine de Paris, et M. le Dr L. H. THOINOT, ancien interne des Hôpitaux de Paris. — Melun, Imprimerie Universitaire, 1889.
- L'Estuaire de la Seine*, par G. LENNIER, Conservateur du Musée d'Histoire naturelle du Havre (Tomes I, II, Atlas). — Imprimerie du Journal « Le Havre », 1895.
- Etudes Géologiques et Paléontologiques sur l'embouchure de la Seine et les Falaises de la Haute-Normandie*, par G. LENNIER, Conservateur du Musée d'Histoire naturelle du Havre. — Havre, Imprimerie E. Costey, 1868.
- Etude sur les Eaux d'alimentation de Rouen*, par R. FORTIN. — Rouen, 1906, Imprimerie J. Girieud.
- Excursions Géologiques aux environs du Havre*. Souvenir du cours professé par M. G. LENNIER, au nom de la Société Havraise d'Etudes Diverses. — Imprimerie Commerciale Costey Frères, Havre, 1864.
- Hydrologie agricole*, F. DIENERT, Chef du Service de surveillance des sources de la Ville de Paris, Paris 1907. — Edit. J.-B. Baillière et Fils.
- Nouveau Traité des Eaux souterraines*, par E.-A. MARTEL. — Edit. Octave Doin, Paris 1921.
- Précis de Microbie*, THOINOT et MASSELIN (4^e édition). — Edit. Masson et C^{ie}, Paris 1902.
- Projet d'aménée au Havre des eaux que la Ville se propose de capter sur le territoire de Saint-Nicolas-de-la-Taille. Le Bouët-de-la-Ville*. M. LEFEBVRE, Ingénieur, Directeur du Service des Eaux. — Imprimerie René Boulard, Havre 1908.
- Revue Générale de Chimie pure et appliquée* (30 Novembre 1901). Paris. *Les sources de la craie*. F. DIENERT.
- Recueil des publications de la Société Havraise d'Etudes Diverses*. — *Les Eaux souterraines de la Région du Havre*. M. Alphonse MARTIN. — Imprimerie Micauts, Le Havre.
- Revue d'Hygiène* (Onzième année, 1889). — *Etiologie de la Fièvre typhoïde au Havre*, M. le Dr GIBERT, Directeur du Bureau municipal d'Hygiène. — Edit. G. Masson, Paris.
- Revue d'Hygiène* (Dix-huitième année, 1896). — *La Fièvre typhoïde au Havre*, M. le Dr GIBERT, Directeur du Bureau municipal d'Hygiène. Edit. G. Masson, Paris.
- Revue d'Hygiène* (Dix-huitième année, 1896). — *Revue critique. L'Etiologie de la Fièvre typhoïde; Faits et Doctrine*. M. le Dr G. DROUINEAU, Inspecteur général de l'Assistance publique.

- Revue d'Hygiène. — Concours de la Ville de Paris pour l'épuration ou la stérilisation des eaux de rivière destinées à la boisson.* M. le D^r A.-J. MARTIN.
- Revue d'Hygiène* (Vingt-troisième année, 1901). — *Recherche du bacille typhique dans l'eau.* A. CHANTEMESSE, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.
- Revue d'Hygiène* (Vingt-troisième année, 1901). — *Recherche du bacille typhique dans l'eau.* CAMBIER.
- Revue d'Hygiène* (Vingt-sixième année, 1904). — *Statistique Démographique et Médicale de la Ville du Havre pour la période 1890-1899.* M. le D^r POTTEVIN, Docteur ès-sciences, Directeur du Bureau Municipal d'Hygiène.
- Des Sources au bord de la Mer.* M. HOUDRY, ancien élève de l'Ecole Polytechnique. — Imprimerie H. Micaux, Le Havre, 1900.
- Statistique du Bureau Municipal d'Hygiène du Havre, démographique et médicale pour la période décennale 1880-1889.* M. le D^r GIBERT, Directeur. — Le Havre, Imprimerie du « Progrès », 1893.
- Statistiques du Bureau municipal d'Hygiène du Havre pour la période décennale 1890-1899.* M. le D^r H. POTTEVIN, Directeur, Le Havre. — Imprimerie du Journal « Le Havre ».
- Traité d'Hygiène.* P. BROUARDEL, E. MOSNY (Tome II). *Le sol et l'eau*, L. DE LAUNAY, Ed. BONJEAN, E.-A. MARTEL, J. OGIER. — Edit. J.-B. Baillière et Fils, 1906.
- Traité de Bactériologie* de E. MACÉ, Professeur d'Hygiène de la Faculté de Médecine de l'Université de Nancy. — Edit. J.-B. Baillière et Fils, 1906.



